



Strategi for udvikling af integrerede lavenergiløsninger til nye bygninger

Tommerup, Henrik M.; Svendsen, Svend; Furbo, Simon; Olesen, Bjarne W.; Heiselberg, Per; Østergaard Jensen, Søren; Holm Christiansen, Christian; Johnsen, Kjeld

Publication date:
2009

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Tommerup, H. M., Svendsen, S., Furbo, S., Olesen, B. W., Heiselberg, P., Østergaard Jensen, S., Holm Christiansen, C., & Johnsen, K. (2009). *Strategi for udvikling af integrerede lavenergiløsninger til nye bygninger*. (2. udgave ed.).

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Strategi for udvikling af integrerede lavenergiløsninger til nye bygninger



Institut for Byggeri og Anlæg

Rapport 2009
2. udgave

Forfattere: LavEBygs kerneaktører – se forord
DTU Byg-Rapport SR-09-02 (DK)
ISSN=1601-8605
04 2009


AALBORG UNIVERSITET

 **TEKNOLOGISK
INSTITUT**

DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg



Statens Byggeforskningsinstitut
AALBORG UNIVERSITET

Forord

Denne strategirapport for lavenergiløsninger til nye bygninger indeholder opdaterede resultaterne af en løbende strategiudvikling, der foregår i Innovationsnetværket LavEByg, som beskæftiger sig med integrerede lavenergiløsninger på bygningsområdet. Netværket støttes økonomisk af Forsknings- og Innovationsstyrelsen. Netværkets web adresse er www.lavebyg.dk.

Strategien er udarbejdet af netværkets kerneaktører:

- Institut for Byggeri og Anlæg ved Danmarks Tekniske Universitet (DTU Byg) ved Svend Svendsen, Henrik Tommerup og Simon Furbo.
- Internationalt Centre for Indoor Environment and Energy (ICIEE) ved Danmarks Tekniske Universitet (ICIEE – DTU Byg) ved Bjarne Olesen
- Institut for Byggeri og Anlæg ved Aalborg Universitet (AAU) ved Per Heiselberg
- Statens Byggeforskningsinstitut ved Aalborg Universitet (SBI-AAU) ved Kjeld Johnsen
- Teknologisk Institut ved Søren Østergaard Jensen og Christian Holm Christiansen

Netværkets sekretariat (beliggende på DTU Byg) har koordineret indsatsen. Kerneaktøerne har leveret konkrete skriftlige bidrag vedrørende de faglige delområder, de har ansvaret for, svarende til områder, hvor de besidder særlig ekspertise. Netværket har bidraget til rapporten i forbindelse med afholdelse af strategimøder mv.

Strategiudviklingen er en dynamisk proces, der foretages løbende og afspejler opbygningen af viden og udviklingen på området. Det er hensigten af strategien revideres og videreudvikles årligt. På baggrund af strategien og de identificerede forsknings- og udviklingsbehov, søges iværksat relevante forsknings-, udviklings- og demonstrationsprojekter mm.

Rapportens overordnede struktur svarer til en opdeling i fire hovedafsnit:

Mission og vision for LavEByg

Strategi for lavenergiløsninger på bygningsområdet

F&U strategier for lavenergiløsninger til nye bygninger på faglige delområder

Forslag til projekter til udvikling af lavenergiløsninger til nye bygninger

Forsknings- og udviklingsstrategierne er udarbejdet på følgende faglige delområder og med de angivne kerneaktører som ansvarlige:

Hele bygningen, isoleret klimaskærm, energivinduer og solvarme (DTU Byg)

Glasfacader og -tage inkl. solafskærmninger og belysning (SBI-AAU)

Vandbåret opvarmning og køling (ICIEE – DTU Byg)

Luftbårne systemer til ventilation, opvarmning og køling (AAU)

Fjernvarme og solceller (Teknologisk Institut)

Rapporten indeholder tre bilag om hhv. krav til lavenergibygnings i ind- og udland, lavenergikoncepter og designstrategier samt om bygningsisolering.

Indhold

1	Mission og vision.....	3
2	Strategi for lavenergiløsninger på bygningsområdet.....	4
2.1	Energibesparelspotential i bygninger.....	4
2.2	Generel energiløsning.....	6
2.3	Sammenhæng med visioner fra ind- og udland	7
2.4	Energiløsning på bygningsområdet.....	9
2.5	Fordele for byggeerhvervet og Danmark	10
3	F&U strategier for lavenergiløsninger til nye bygninger	12
3.1	Hele bygningen.....	13
3.1.1	Lavenergiboliger	14
3.1.2	Lavenergikontorer, -skoler, -institutioner mm.	21
3.2	Klimaskærm.....	26
3.2.1	Tunge klimaskærmskonstruktioner	26
3.2.2	Lette klimaskærmskonstruktioner	37
3.2.3	Energivinduer.....	45
3.2.4	Glasfacader og -tage, inklusive solafskærmning.....	53
3.3	Installationer	61
3.3.1	Energibesparende elektriske belysningsanlæg	61
3.3.2	Varmeanlæg	68
3.3.3	Køling.....	73
3.3.4	Ventilationsanlæg.....	78
3.3.5	Varmt brugsvand.....	86
3.4	Energiforsyning	87
3.4.1	Lavenergifjernvarme til lavenergibebyggelser	87
3.4.2	Solvarme- og solcelleanlæg på bygninger.....	96
4	Forslag til projekter	102
4.1	Hele bygningen.....	102
4.2	Klimaskærm.....	103
4.2.1	Tunge klimaskærmskonstruktioner	103
4.2.2	Lette klimaskærmskonstruktioner	106
4.2.3	Energivinduer.....	106
4.2.4	Glasfacader og -tage, inklusiv solafskærmninger	107
4.3	Installationer	107
4.3.1	Energibesparende elektriske belysningsanlæg	107
4.3.2	Varmeanlæg	107
4.3.3	Køling.....	109
4.3.4	Ventilationsanlæg.....	110
4.3.5	Varmt brugsvand.....	111
4.4	Energiforsyning	112
4.4.1	Lavenergifjernvarme til lavenergibebyggelser	112
4.4.2	Solvarme- og solcelleanlæg på bygninger.....	113
	Bilag A: Energikrav til lavenergibygnings i ind- og udland.....	116
	Bilag B: Low Energy (Responsive) Building Concepts.....	119
	Bilag C: Bygningsisolering	134

1 Mission og vision

LavEByg-netværkets mission er, at:

Styrke samarbejdet om forskning og udvikling vedrørende vidtgående energibesparelser og energieffektiviseringer i bygninger. Netværket vil stimulere udviklingen af integrerede lavenergiløsninger på bygningsområdet ved at bringe de forskellige aktører i form af vidensinstitutioner, byggevareproducenter, rådgivende ingeniører, arkitekter og udførende sammen i fælles forsknings- og udviklingsprojekter.

Den overordnede mission er således at muliggøre en større anvendelse af forskningsbaseret viden i byggeerhvervet til løsning af de højteknologiske problemstillinger i forbindelse med udviklingen af integrerede lavenergiløsninger på bygningsområdet.

LavEByg-netværkets vision er, at:

Skabe grundlaget for at alle nye bygninger og eksisterende bygninger, der renoveres gennemgribende fra og med 2015, kan nøjes med et så lille energibehov, at det vil kunne komme fra vedvarende energisystemer. Dette skal ske gennem en kontinuerlig udvikling af energirigtige og sunde løsninger til byggeriet. Kort sagt: Visionen er at udvikle bygninger med et godt indeklima, som ikke har behov for energi fra fossile brændsler.

LavEByg-netværkets vision er uddybet i kapitel 2 under overskriften: ”Energi 2050”, som beskriver en ny bæredygtig energiløsning for hele energiforbruget i Danmark, der indebærer en udfasning af brugen af fossile brændsler i 2050, samt beskriver energiløsningen på bygningsområdet, som er at udvikle teknikken til nyopførelse eller renovering af bygninger til lavenergiklasse 1 niveau eller bedre fra 2015 eller eventuelt tidligere.

2 Strategi for lavenergiløsninger på bygningsområdet

Den samlede strategi, der omtales som Energi 2050 i det følgende, er opdelt i en beskrivelse af en generel energiløsning/vision for hele energiforbruget i Danmark samt en beskrivelse af en energiløsning på bygningsområdet. Der redegøres for sammenhænge med andre visioner fra ind- og udland, og der omtales hvilke fordele, der potentielt kan forventes for byggeerhvervet og Danmark.

Energi 2050 er en vision for en ny bæredygtig energiløsning for hele energiforbruget i Danmark, der indebærer en udfasning af brugen af fossile brændsler i Danmark inden 2050. Denne nye energiløsning baseres på en optimal kombination af vidtgående energibesparelser og en energiforsyning udelukkende baseret på vedvarende energi.

Energi 2050 har fokus på bygninger, hvor ca. 40 % af Danmarks nuværende energiforbrug anvendes, og på energiforsyning af bygninger i sammenhæng med det øvrige energisystem. Tidshorizonten 2050 er valgt, da vidtgående energibesparelser i den eksisterende bygningsmasse kan billiggøres ved at koble energibesparelserne til almindelig renovering, og med almindelig renoveringstakt kan hele bygningsmassen være renoveret ca. år 2050.

Energi 2050 tager udgangspunkt i at vedvarende energi i dag udgør 17 % af Danmarks energiforbrug¹. En fremtidig energiforsyning baseret på 100 % vedvarende energi understøttes af den danske regering, hvilket bl.a. kom til udtryk i Statsminister Anders Fogh Andersens nytårstale 2009, hvor han udtalte: ”Lad os sætte den vision at skabe en ny, grøn økonomi. Et samfund, hvor vi er helt uafhængige af forurenende brændsler som kul, olie og gas”. Denne vision blev udtrykt som et svar på den internationale økonomiske krise, der accelererede i 2008.

Energi 2050 må forventes at være den billigste og mest fremtidssikrede løsning med hensyn til forsyningssikkerhed, miljøforhold og økonomi. Disse aspekter er i øvrigt specifikt omtalt i regeringens langsigtede energipolitik², som langsigtede energipolitiske udfordringer.

2.1 Energibesparelspotentialet i bygninger

Danmarks klimakorrigerede energiforbrug fordelt på slutbrugere fremgår af tabel 1. Der er tale om det såkaldte endelige energiforbrug leveret til slutbrugerne, dvs. energiforbrug ved udvinding af energi, raffinering og konvertering er ikke inkluderet.

¹ Jf. seneste Energistatistik (2007) fra Energistyrelsen

² En visionær dansk energipolitik 2025. Transport og Energiministeriet, januar 2007.

Tabel 1. Danmarks klimakorrigerede endelige energiforbrug i 2007 i PJ, fordelt på slutbrugere.

Slutbrugere, anvendelser	I alt
Husholdninger	200
Produktionserhverv	161
Handels- og serviceerhverv	87
Samlet endeligt energiforbrug ekskl. transport	448
Transport	225
Ikke energiformål	13
Samlet endeligt energiforbrug inkl. transport mm.	685

Det ses af tabel 1, at Danmarks samlede endelige energiforbrug i 2007 var 685 PJ³. Det ses også, at en meget stor del af det samlede energiforbrug anvendes i bygninger. Bygningsopvarmning udgør omtrent 50 % af energiforbruget (ekskl. transport).

Bygningsmassen er relativt gammel og har dårlig energimæssig standard. Omtrent 75% er opført før 1977, hvor der kom væsentligt skærpede energikrav i bygningsreglementet. En del af disse bygninger er blevet forbedret energimæssigt, men der til trods for dette et betydeligt energibesparelspotentiale.

Potentialet for energibesparelser er undersøgt i 2004 i en større undersøgelse⁴, hvor der peges på samfundsøkonomiske og privatøkonomiske potentiale for energibesparelser frem til 2015 på hhv. 24 og 42 %. Man angiver at 50 % af besparelspotentialet ligger i bygningers rumvarmeforbrug, hvoraf ca. 90 % kan spares i boliger. Udredninger fra SBI⁵ og BYG.DTU⁶ om potentialet for energibesparelser i eksisterende og nye boliger angiver besparelsemuligheder på 60-80 % over en periode frem til 2050.

Potentialet for el-besparelser er generelt ca. 40 % (jf. Elsparefonden). Dette bekræftes af nyere undersøgelser⁷, der viser at elforbruget i typiske nye enfamiliehuse umiddelbart her og nu kan reduceres med ca. 40 % ved valg af de bedste el-apparater og belysningsudstyr på markedet og vel og mærke uden den store effekt på varmeforbruget.

Nøglen til at opnå vidtgående energibesparelser vil være at alle nye bygninger opføres som lavenergibygninger og at energirenovering af eksisterende bygninger foretages til lavenerginiveau, således at restenergibehovet på en økonomisk fornuftig/optimal måde kan dækkes alene med vedvarende energi. Derved kan der opretholdes de ønskede komfortforhold i bygningerne på den billigste måde. Der er dermed en mulighed for at realisere LavEByg visionen om velfungerende bygninger med godt indeklima, men uden behov for fossile brændsler.

³ Bruttoenergiforbruget, dvs. inkl. energiforbrug til udvinding af energi, raffinering og konvertering, udgjorde 874 PJ i 2007.

⁴ "Potentialebegrænsning - Energibesparelser i husholdninger, erhverv og offentlig sektor". Rapport udarbejdet for Energistyrelsen. Birch & Krogboe A/S, 2004.

⁵ "Vurdering af potentialet for varmebesparelser i eksisterende boliger", By og Byg Dokumentation 057, 2004.

⁶ "Energibesparelser i eksisterende og nye boliger", BYG-DTU Rapport R-080, 2004.

⁷ "Målinger af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til bygningsreglementet 2006", Projekt 335-028, www.elforsk.dk

2.2 Generel energiløsning

En bæredygtig energiløsning for hele energiforbruget i Danmark, som grundlag for en ”ny grøn økonomi og vækst”, bør baseres på en optimal balance mellem vidtgående energibesparelser og energiforsyning med vedvarende energi, der produceres på basis af Danmarks egne resurser: affald, biomasse, sol og vind. For at energiløsningen er bæredygtig må den kunne realiseres globalt og for at kunne sikre forsyningssikkerhed skal den bl.a. kunne realiseres for hele EU.

Elektricitet har høj energikvalitet (høj exergi), hvilket betyder, at elektricitet kan bruges til arbejde, elektronik, lys mm. Derfor bør elektricitet ikke benyttes til behov for energi med lav kvalitet (lav exergi) som bygningsopvarmning/-køling, men bør kun anvendes, hvor det er absolut nødvendigt⁸.

Bygningsopvarmning bør så vidt muligt baseres på brug af varmeenergi fra mulige kilder, f.eks. affaldsforbrænding og solvarme, som kan forbedres ved anvendelse af fjernvarme i byområder, der kan transportere varme fra produktionssted til forbrugssted og samtidig også giver mulighed for store centrale varmelagre, der kan udjævne forskelle i produktion og forbrug af varme. Men der er også behov for individuelle forsyningsløsninger uden for byerne.

Bygningskøling bør så vidt muligt minimeres ved passive tiltag - som f.eks. valg af en passende bygningsudformning og bygningsorientering, glasareal og termisk masse - og eventuelle kølebehov bør klares ved naturlig køling, dvs. anvendelse af naturens egne kolde reservoir, f.eks. grundvand, havnevand og natteluft.

En ny videnskabelig kortlægning af fjernvarmens potentiale i fremtiden⁹ (Varmeplan Danmark), viser at med en kombination af øget fjernvarme og individuel opvarmning baseret på vedvarende energi kan den danske opvarmningsrelaterede CO₂ udledning halveres inden 2020 og kan stort set fjernes i 2030. Derved banes vejen for et dansk samfund opvarmet 100 pct. af vedvarende energi. Ifølge undersøgelsen kan der udvikles et dansk samfund 100 pct. opvarmet af vedvarende energi ved at omlægge fra naturgas til fjernvarmebaseret biogas, og gradvist udbygge fjernvarmen til at dække 70 % af markedet for rumopvarmning. I dag dækker fjernvarmen knap 46 % af markedet. De sidste 30 % kan dækkes af individuel opvarmning med solvarme, træpillefyr og varmepumper.

På denne baggrund beskrives nedenfor Energi 2050 i korte træk:

Varme til bygninger: Energiforbruget til varme reduceres til ca. 20 % af det nuværende og leveres i byer fra lavenergifjernvarmesystemer baseret på affaldsforbrændingsanlæg, geotermiske anlæg og solvarmecentraler samt eventuelt spildvarme fra diverse konverteringsprocesser. Uden for byerne leveres energien fra lokal VE og VE-el fra vind og kraftvarme baseret på affald samt solel og andre VE-teknikker.

Varme til industri: Høj-temperatur varmebehov reduceres med 50 % og resten leveres fra lokal VE og VE-el.

El til bygninger og industri: Reduceres med 50 % og leveres som VE-el.

⁸ Energy – Engine of Evolution. Frank Niele. Shell Global Solutions. 2005.

⁹ ”Varmeplan Danmark”. Rapport udarbejdet af Rambøll A/S og Aalborg Universitet for Dansk Fjernvarme, 2008.

Transport: Reduceres med 50 % og leveres som flydende brændstoffer fra biomasse og VE-el / VE-brint.

Fordelingen af energiforbrug og energiforsyning i 2050 kunne i runde tal se ud som følger:

Energiforbrug: 40 PJ varme og 210 PJ el og brændstof. I alt 250 PJ.

Energiforsyning: 40 PJ VE-varme (affald, spildvarme og geotermisk varme), 80 PJ bio brændsler svarende til samme niveau som i dag og 130 PJ VE-el fra vind og sol. I alt 250 PJ.

Det skal bemærkes at el-produktionen fra vindmøller i dag kun er 26 PJ, så en produktion på 130 PJ fra vind og sol er naturligvis en stor, men ikke urealistisk udfordring.

I et fremtidigt energiforsyningssystem baseret på vedvarende energi og udbredt vindkraft er der et problem ift. udbredt individuel opvarmning med varmepumper, der er nødt til at producere varme i kolde vinterperioder, hvor det er vindstille, og hvorved de kan medvirke til at øge behovet for maksimal kapacitet i systemet. Varmepumper er derfor umiddelbart mest relevante udenfor byerne, hvor fjernvarme ikke er et alternativ.

Der er generelt et behov for at elforsyningen arbejder med lagring og integration af vindkraft i stor stil. Der er også behov for at byggeriet går sammen med fjernvarmebranchen om en strategisk indsats om udvikling og implementering af lavenergifjernvarme i forbindelse med nybyggeri og energirenovering af bygningsmassen. Der er tidligere identificeret gode muligheder for at udvikle fjernvarmeløsninger med bedre effektivitet og god økonomi for forbrugerne¹⁰.

Der forventes at ske en betydelig udvikling i den vedvarende energiforsyning inkl. lagring, men det vil formentlig være billigere at spare på energiforbruget end at erstatte brug af fossile brændsler med vedvarende energi. Der er store økonomiske interesser i at finde den optimale balance mellem energibesparelser og energiforsyning med vedvarende energi, så der er et særligt behov for at foretage energisystem analyser af forskellige løsningsmuligheder (potentielle scenarier), så et rationelt beslutningsgrundlag kan tilvejebringes. Bygningsområdet skal levere kvalificerede randbetingelser til disse energisystem-modeller og analyser.

2.3 Sammenhæng med visioner fra ind- og udland

Dansk energipolitik udvikler sig nu i den rigtige retning i forhold til løsning af energiproblemerne vedr. forsyningssikkerhed og miljøforhold. Desuden understøtter den en udvikling, der igen kan bringe Danmark og byggebranchen i en international førerposition mht. udvikling af lavenergihuse og ikke kun som hidtil i forhold til energikrav i bygningsreglementet. Det er primært EU, der driver processen. Globalt set er der stigende fokus på energibesparelser og vedvarende energi. Energi 2050 har god sammenhæng med disse udviklingstendenser.

Energi 2050 har mere konkret en god sammenhæng med et oplæg til energihandlingsplan for udvikling af et bæredygtigt energisystem, som er udarbejdet i regi af IDA's Energiår 2006. IDA's plan lægger op til 50 % energibesparelser i bygninger i 2030, anvendelse af vedvarende

¹⁰ Effektivisering af fjernvarmesektoren – Idékatalog. Energistyrelsen, September 2004.

energi i bygninger og øget fokus på forskning og udvikling. Energi 2050 vil føre til de samme energibesparelser i bygninger, svarende til omtrent en halvering af energiforbruget i 2030. Forskellen ligger i den samlede forsyningsløsning, hvor Energi 2050 opererer med en mere langsigtet løsning i form af en fuldstændig udfasning af fossile brændsler og et meget lavt energiforbrug forsynet fra vedvarende energikilder.

I Sverige nedsatte regeringen ultimo 2005 en kommission, der havde til opgave at formulere et program for at mindske Sveriges olieafhængighed. I juni 2006 kom kommissionen med en rapport, hvori man anbefaler at fjerne olieafhængigheden i 2020. Dette skal ske ved helt at fjerne det sidste olieforbrug til boligopvarmning (2004: 36 PJ), og mindske olieforbruget til transport og industri med 25-50 % (2004: 475 PJ). Sverige har mindsket olieforbruget til opvarmning med ca. 70 % over de sidste 30 år. Planen er at olie skal erstattes med biobrændsel i kombination med solvarme samt benyttelse af fjernvarme, hvor det er muligt. Direkte el-opvarmning af boliger, særligt enfamiliehuse, er meget udbredt og baseret på stor el-produktion fra vand- og kernekraft. Det er planen, så vidt muligt, at erstatte el med biobrændsel mm. Den svenske bygningsopvarmning er baseret på biobrændsel, fjernvarme, direkte elopvarmning og varmepumper. Det foreslås at staten og byggebranchen tager initiativer til at stimulere til en høj andel af lavenergihuse, så lavenergihuse mindst udgør 75 % af nybyggeriet i 2020. Man opfordrer til at gå videre efter 2020 med afvikling af olie og andre fossile brændsler. Man anbefaler massiv støtte til forskning, udvikling og demonstration / kommerialisering af ny teknik.

Den svenske opfordring til staten og byggebranchen om at tage initiativ til at nedbryde barrierer og gøre det attraktivt at bo energirigtigt, er måske blevet hørt i Danmark. I hvert fald har en bred kreds af byggeriets parter udviklet en fremtidens energirigtige boligstandard kaldet BOLIG+. Bolig+ er energineutrale boliger med mindst 50 % mindre energibehov (inkl. el til apparater) sammenlignet med en typisk standard bolig. Energieneutraliteten betyder at der kræves en egenproduktion af energi via f.eks. solvarme og solel, der er lig med energiforbruget set over en hel sæson. Bolig+ er et lovende koncept, som støttes økonomisk af staten, og som kan være en løftestang for en relativ hurtig udbredelse af energirigtigt byggeri. Konceptet giver dog anledning til energisystemmæssige udfordringer i forhold til et el-system alene baseret på vedvarende energi.

EU Kommissionen har tilbage i 2006 lavet analyser for fremtiden¹¹, som er baseret på et reference scenarie svarende til politikker og tiltag som er implementeret eller er på vej. Dette viser, at verdens energiforbrug vil være fordoblet i 2050 og at 75 % stadigvæk vil blive dækket af fossile brændsler og at elektricitetsforbruget vil stige med en faktor 4. I Europa forventes dog kun et lidt større energiforbrug i 2050 end i dag. Olie og gas forbruget vil være reduceret betydeligt, anvendelse af kul vil stige lidt, mens atomkraft og vedvarende energi vil stige betydeligt. Andelen af vedvarende energi i 2050 vil være 40 %. På verdensplan vil CO₂ emissionerne stige med en faktor 2,5 i 2050, sammenlignet med 1990 niveau, som primært skyldes øget brug af kul stimuleret af knappe ressourcer af olie og gas og en blød klimapolitik, der vil betyde at vedvarende energikilder får det svært på verdensplan. I Europa forventes det at CO₂ emissionerne i 2050 vil være på niveau med i dag. Man angiver at der er behov for betydelige ekstra tiltag for at begrænse klimaændringerne.

Der er udviklet et CO₂- begrænsende scenarie svarende til en langsigtet stabilisering af CO₂- emissionerne på 500 ppmv, som vil resultere i et mindre energiforbrug i Europa pga.

¹¹ Energy Futures – The role of research and technical development. European commission. Directorate-General for Research. Sustainable Energy Systems. 2006.

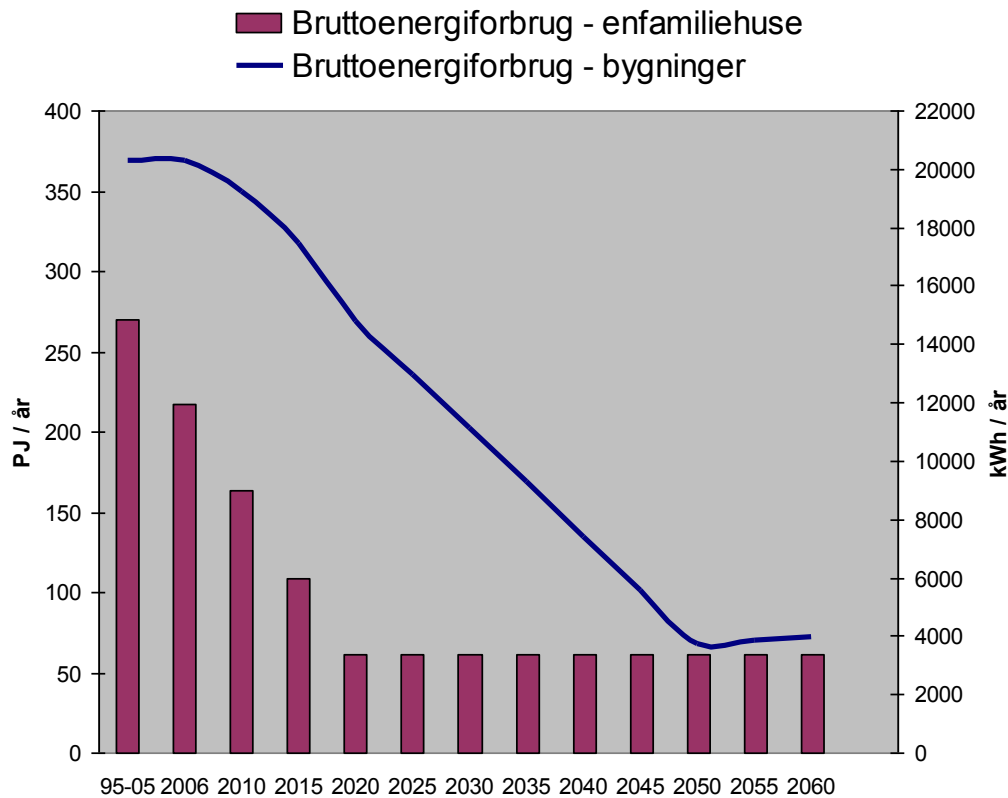
energieffektiviseringer og større grad af energibesparende brugeradfærd samt en større andel af vedvarende energi. EU påpeger at der er brug for et paradigme skifte og en langsigtet satsning på forskning, udvikling og demonstration af bæredygtig teknologier på energiområdet. Man angiver 4 primære ”drivere” af udviklingen indenfor energiområdet: befolkningstal, økonomisk vækst, olie og gas ressourcer samt muligheder og økonomi i energiteknologier.

Den fremtidige udvikling i Europas energisektor er undersøgt ved at indhente input fra eksperter med henblik på prioriteringer af forskning og udvikling. Disse eksperter mener at energibesparelser er højeste prioritet og påpeger store besparelspotentialer, særligt i de nye medlemslande. 75 % mener at 50 % af alle nye bygninger i Europa vil være lavenergibygninger før 2030 og kun 1-2 % mener at denne udvikling er helt usandsynlig. Man ser et stort potentiale i vedvarende energi, som har anden prioritet pga. en klar miljøfordel, forsyningssikkerhed og potentialet for regional udvikling. Lagring generelt, og ikke kun af vedvarende energi, ses som en nøgle komponent, hvor der er behov for både grund- og anvendelsesorienteret forskning i lagring via hydrogen (langsigtet), men også andre former.

EU vedtog i december 2008 en omfattende energi- og klimapakke, som omfatter bindende krav om 20% vedvarende energi og 20% reduktion af udslip af drivhusgasser (30% ved global aftale) i EU i 2020, og henstillinger om 20% energibesparelser i EU i 2020. Kravene sætter fokus på bygninger, hvor de billigste energibesparelser findes i form af især energi til opvarmning (men også elforbruget), idet omfattende energibesparelser her vil gøre det betydeligt lettere at nå reduktionsmålet i 2020.

2.4 Energiløsning på bygningsområdet

Energiforbruget til rumopvarmning, varmt vand, køling, ventilation og belysning i bygninger tegner sig for ca. 40 % af Danmarks samlede energiforbrug, som derved bidrager kraftigt til miljøforureningen (CO₂, drivhusgasser osv.). Strategien er derfor at bidrage til et bæredygtigt samfund via en ny energiløsning på bygningsområdet, der indebærer at skabe det tekniske grundlag for at nedsætte hele bygningsmassens energiforbrug til ca. 20 % af det nuværende i 2050, herunder at reducere nye bygningers energiforbrug gradvist, så det i 2020 (eller hurtigere) kun udgør ca. 20 % af niveauet for bygninger opført efter minimumskravene i de nye energibestemmelser fra 2006, som indgår i Bygningsreglement 2008 (se figur 1). Diverse undersøgelser indikerer som omtalt at det umiddelbart er teknisk muligt og økonomisk fornuftigt at nedsætte bygningers energiforbrug som skitseret. Samtidig fremgår af den energipolitiske aftale som regeringen i februar 2008 indgik med stort set alle folketingets partier fremgår at man ønsker at stramme kravene til nye bygninger med mindst 25 % i 2010, 2015 og 2020, således at energiforbruget i alle nye bygninger senest i 2020 kommer ned på 20% af det nuværende niveau.



Figur 1. Udvikling i bygningsmassens energiforbrug til bygningsdrift (akse til venstre) og i enfamiliehuse (akse til højre)

Energiløsningen på bygningsområdet er derfor at udvikle teknikken til mindst lavenergiklasse 1 bygninger i 2015 og efterfølgende et lavere niveau svarende til ca. 20 % af det nuværende – både til nybyggeri og til renovering. Samtidig er der behov for at halvere elforbruget til apparater i bygninger. Desuden er der behov for at udvikle VE-forsyningssystemer til bygninger og bebyggelser i både land- og byområder.

Fremgangsmåden er naturligt at starte med at finde frem til den optimale langsigtede løsning for nye bygninger i form af den optimale balance mellem energibesparelser og energiforsyning baseret på vedvarende energi. Derefter vil det være oplagt at undersøge den optimale omstillingsproces af den eksisterende bygningsmasse og det tilhørende energiforsyningssystem.

Den samlede optimale langsigtede løsning for hele bygningsmassen kan efter en udviklingsperiode på 5-10 år realiseres ved at indføre de optimale løsninger i alle nye bygninger og bebyggelser samt ved gradvist at gennemføre energirenoveringer, dvs. kombinerede almindelige renoveringer og vidtgående energibesparelser i alle eksisterende bygninger efterhånden som de får behov for renovering. Det afgørende er, at koble de vidtgående energibesparelser til almindelig renovering, så de derved billiggøres. Ligeledes vil de nuværende energiforsyningssystemer også gradvist kunne omstilles.

2.5 Fordele for byggeerhvervet og Danmark

Energi 2050 energiløsningen kræver igangsætning af vidtgående forskning, udvikling og demonstration af integrerede løsninger til fremtidens lavenergibygninger. I dag er der i de

enkelte brancher på bygningsområdet en relativt lille grad af koordineret forskningsaktivitet vedrørende udvikling af integrerede lavenergiløsninger på bygningsområdet. Byggeerhvervet selv påpeger at opprioritering af forskning, udvikling, demonstration og videnformidling er en vigtig forudsætning for at opnå en opkvalificering af byggeerhvervet og styrkelse af den tilknyttede forskning.

En række af de største faglige organisationer i Danmark anbefaler i et fælles energipolitisk udspil¹², at regeringen træffer beslutning om at øge de offentlige investeringer i energiforskning fra 1 mia. kr. årligt i 2010 til 4 mia. kr. i 2020, så Danmark fortsat kan udvikle teknologier til energibesparelser og energiforsyning med vedvarende energi, der kan bidrage til reduktion af udledningen af drivhusgasser. Man mener at disse investeringer er nødvendige for Danmarks mulighed for en omstilling til en ny, grøn og konkurrencedygtig vækstøkonomi.

Det erhvervsmæssige potentiale vedr. energibesparelser i bygninger er stort. Den ekstra aktivitet som de vidtgående energibesparelser kræver, kan udføres af byggebranchens mange store og små aktører i form af materiale- og komponentproducenter, rådgivere og udførende som en realistisk ekstra aktivitet i forhold til det normale aktivitetsniveau. Byggebranchen vil dermed kunne videreudvikle deres forretningsområde og skabe en egentlig energisparebranche med meget store erhvervsmæssige perspektiver - også i udlandet.

Boligsektoren står for 75 % af det samlede energiforbrug i bygninger. Hjemmemarkedet for større renoveringer af boliger og nyt boligbyggeri udgør til sammen ca. 45 mia. kr. pr. år. Hvis det forudsættes at renovering og nybyggeri til lavenergi-niveau er 10-15 % dyrere i anlægsudgifter, hvilket er baseret på foreløbige erfaringer med lavenergi-byggeri og gennemgribende energirenoveringer, vil der være tale om en ekstra omsætning på 4,5 – 7 mia. kr. pr. år. Hertil kommer den ekstra omsætning vedrørende erhvervsbygninger.

EU-bygningsdirektivets implementering i 2006 og den dermed totale ændring i formuleringen af bygningsreglementets energikrav til bygninger er en udfordring for hele byggeerhvervet, som giver store muligheder for eksport af energirigtige løsninger. Det er dog vigtigt at virksomhederne hurtigt bliver i stand til at leve op til de nye energikrav, så mulighederne for både indenlandsk og udenlandsk afsætning af integrerede lavenergiprodukter og -løsninger optimeres. Dette er også en forudsætning for at virksomhederne kan indtage eller fastholde en førerposition på især det europæiske marked.

Bygningsdirektivet har rettet fokus på energibesparelser i bygninger i Europa. Også globalt set er energibesparelser mere aktuelle end nogensinde da:

- Kyotoaftalens reduktionsmål for udledning af drivhusgasser kan realistisk set kun indfries ved energibesparelser.
- Energiefterspørgselen i eksempelvis Kina og Indien eksploderer i disse og kommende år.
- De høje verdensmarkedspriser på olie naturligt fremmer energibesparelser, både i industrien og privat.

Der er således globalt set, et stort eksportpotentiale for det danske byggeerhverv.

¹² ”Energisatsning til gavn for klima, vækst og beskæftigelse”. Dansk Industri, Dansk Metal, Ingeniørforeningen og Dansk Energi, november 2008.

3 F&U strategier for lavenergiløsninger til nye bygninger

Der redegøres i det følgende for forsknings- og udviklingsstrategier på konkrete faglige delområder vedrørende integrerede lavenergiløsninger til nye bygninger.

Hvert fagligt delområde udredes under følgende fem overskrifter:

1. Beskrivelse af delområde: Der anvendes en struktur på basis af produkter, da der er fokus på lavenergiløsninger i form af produkter. Produkter beskrives, funktioner af produkter beskrives mht. indeklima og sundhed, energiforbrug, økonomi og andre funktioner (sikkerhed, holdbarhed, miljøbelastning, æstetik) og processer beskrives i form af forskning, udvikling, projektering, produktion, opførelse, drift, renovering og nedbrydning.
2. Screening: Kvalitativ beskrivelse af teknologiudviklings- og forskningsmuligheder, så vidt muligt ved brug af SWOT analyser (styrker, svagheder, muligheder, trusler). Analyserne benyttes alene i forhold til udvikling og anvendelse af lavenergibyggeri.
3. Koblinger: Identifikation af de relevante sammenhænge mellem forskningen på universiteterne og de teknologiske udfordringer i byggeerhvervet.
4. Behov og muligheder: Skitsering af byggeerhvervets behov og muligheder for forskning, teknologiudvikling og uddannelse. Behov hhv. muligheder skal forstås i sammenhængen efterspørgsels- hhv. udbudsorienteret byggebranche.
5. Fokusområder: Afgrænsning af fokusområder for FoU blandt de deltagende vidensinstitutioner i netværket.

Der sondres i beskrivelsen af de faglige delområder i nogen grad mellem byggeerhvervets enkelte hovedaktører, dvs. byggevareproducenter, rådgivende ingeniører og arkitekter samt udførende.

Teknologi begrebet er centralt i forbindelse med strategien, og da der kan herske tvivl om hvad begrebet omfatter, er det relevant at komme med et forslag til definition, så der kan defineres en fælles referenceramme. En helhedsorienteret definition af teknologibegrebet går ud på at dele teknologien op i fire hovedbestanddele; teknik, viden, organisation og produkt:

Teknik:	Arbejdsmidler, -genstande og –kraft i arbejdsprocessen (hardware)
Viden:	Kunnen, indsigt og intuition i arbejdsprocessen (software)
Organisation:	Ledelse og koordination af arbejdsdelingen i arbejdsprocessen
Produkt:	Arbejdsprocessens resultat. Det indeholder brugsværdi og bytteværdi

Bestanddelene skal opfattes som analysefelter eller disposition for studiet af teknologiens indre strukturer og processer (teknologianalyse). Begrebsrammen kan passende danne udgangspunkt for studiet af den teknologiske ændringsproces, som virksomhedernes og dermed samfundets teknologi hele tiden undergår, der også kaldes den teknologiske udvikling.

En væsentlig del af en teknologianalyse går ud på at finde ud af hvad der sker med bestanddelene såfremt en af dem ændrer form og indhold, dvs. ændres kvalitativt. En

grundlæggende tese er: ”De fire bestanddele af teknologien er således forbundne, at en kvalitativ ændring af blot en af bestanddelene vil medføre kvalitative ændringer af de andre tre bestanddele.”

Der er ikke foretaget egentlige teknologianalyser i forbindelse med strategiudviklingen.

3.1 Hele bygningen

De nye energibestemmelser, der blev indført 1. januar 2006, er et opgør med den tidligere fokusering på bygningers isolering. Med de nye bestemmelser er der kommet fokus på den energimængde, der er behov for at opfylde de aktuelle funktionskrav. Det vil sige at der er frit slag til at prioritere bygningens udformning inden for en energiramme for det samlede behov for energi til rumopvarmning, varmt brugsvand, ventilation, køling og belysning (dog ikke boliger).

Bygningers energibehov afhænger af samspillet mellem bygningers overordnede bestanddele: Indeklima, udeklima, brugere, konstruktioner og systemer til opvarmning, ventilation og køling. Denne afhængighed bliver større i lavenergibygninger, så en udvikling af bygninger til lavenerginiveau fordrer således brug af integrerede lavenergiløsninger.

Bygningers energibehov skal beregnes under hensyntagen til:

Placering og orientering (herunder dagslys og udeklima)

Klimaskærmens udformning,

Solindfald og solafskærmning

Varmeakkumulerende egenskaber

Varmeanlæg og varmtvandsforsyning

Ventilationsanlæg og klimakøling

Naturlig ventilation og det planlagte indeklima

Eventuel solvarme, solceller, varmepumper, kondenserende kedler og fjernvarme

Eventuel varmegenvinding og køling med ventilation om natten mv.

Disse faktorer kan kombineres i forhold til bygningens funktioner, og således at krav til bygningsdeles mindste varmeisolering, bygningens samlede transmissionstab, lufttæthed og effektivitet af varme- og ventilationsanlæg er opfyldt.

Det er relevant med en opdeling af ”hele bygningen”. Det vil være naturligt at benytte bygningsreglementets opdeling i to hovedkategorier af bygningstyper, som behandles separat under følgende overskrifter:

Lavenergiboliger.

Lavenergikontorer, -skoler, -institutioner mm.

Lavenergiboliger omfatter enfamiliehuse, etageboliger, kollegier mm. Lavenergi-kontorer, skoler, institutioner mm. omfatter de resterende bygningstyper, især forskellige former for erhvervs- og institutionsbyggeri.

3.1.1 Lavenergiboliger

3.1.1.1 Beskrivelse af delområde

Enfamiliehuse opføres typisk baseret på standardiserede byggesystemer og arbejdsprocesser. Stort set alle nye enfamiliehuse har gulvvarme. De mest almindelige byggesystemer er:

- Skalmurede porebetonelementer:
 - Byggeri i maksimalt i to etager
 - System baseret på bagvægge og indvendige skillevægge af rumhøje og 50-60 cm brede porebetonelementer med densitet på ca. 650 kg/m^3 .
 - Bagvægselementerne er typisk udstyret med indstøbte bindere, der anvendes til forankring af en skalmur.
 - Af statiske og byggetekniske årsager benyttes falselementer ved samlinger omkring vinduer og døre, så en standard vindueskarm kan dække over kuldebroisoleringen i falsen.
 - Lufttætheden for byggesystemet afhænger særligt af udførelsen af dampspærren i loftkonstruktionen og samlinger ved ydervæg, fundament og omkring vinduer og døre, hvilket generelt også gælder for de øvrige byggesystemer.
- Skalmurede helvægselementer i letklinkerbeton:
 - Byggesystemet er baseret på rumstore, etagehøje elementer af letklinkerbeton, der kan leveres i forskellige densiteter (styrker) på typisk $1200 - 1900 \text{ kg/m}^3$, idet de laveste densiteter anvendes i enfamiliehuse.
 - Systemet kræver ikke brug af falselementer omkring vinduer og døre mm, men en særlig pladefals er en del af systemet.
- Fuldmuret:
 - Fuldmurede huse er huse med for- og bagmur samt skillevægge i mursten.
 - Mures typisk op traditionelt på byggepladsen, men der findes dog enkelte ”råhus” leverandører af præfabrikerede teglvægge.
 - Der vil ofte være behov for skillevæggsfundamenter.
 - Omkring vinduer og døre anvendes typisk ommuringer, som ved traditionel opmuring på byggepladsen både har en statisk funktion og som skal lukke af for isoleringen, så et almindeligt vindue kan dække over kuldebroisoleringen. Løsninger med fuld isoleringstykkelse i falsen og dækplade er dog efterhånden blevet mere udbredte
- Massive ydervægge:
 - Systemer er baseret på opmuring med vægtykke blokke af porøs teglsten eller porebeton uden brug af traditionel isolering, idet den homogene porebeton/tegl udgør både det bærende og isolerende lag.
 - Isolansen pr. meter vægtykkelse er ca. en faktor 1,5 større end for de ovennævnte byggesystemer.
- Træ- og stålskeletelementer:
 - Systemer med træ- og stålskeletelementer eller såkaldt let byggeri, der er kendetegnet ved kort opførelsestid og god mulighed for at etablere en effektiv isolering.
 - Elementerne består af skeletkonstruktioner med pladebeklædning. Det bærende skelet er baseret på enten massiv, pladforbudne eller delte træ- eller stålprofilstolper. Massive stålprofiler er ofte slidsede for at minimere kuldebroeffekten.

- Huse med træ- og stålskelelementer betegnes typisk træhuse eller bjælkehuse. Forskellen på træhuse og bjælkehuse er den udvendige regnskærm, der i bjælkehuse består af vandret liggende bjælker.
- Massivtræelementer:
 - Kan opdeles i tre grupper efter deres konstruktive opbygning: 1) Kantstillede brædder, 2) krydsede brædder og 3) kasseelementer.
 - Elementerne anvendes til dæk, vægge og tagdæk.
 - Elementerne har typisk en tykkelse på 70 – 120 mm.
 - Isolering og beklædning etableres udvendigt ved fastgørelse direkte til elementerne.
 - Elementerne er lette konstruktioner, der har evne til at optage og afgive fugt (fugtbuffer), og kan forhindre større udsving i indeluftens fugtighed.
 - Elementerne er mindre egnede i rum med stor fugtbelastning, da den store fugtbelastning kan medføre nedbrydning af træet.
 - Det er muligt at anvende elementernes træoverflader direkte mod rummet.

Etageboliger er såkaldte flerfamiliehuse, hvor de enkelte boligenheder er adskilt af både lodrette og vandrette boligskel. Etageboliger opføres typisk som skalmurede beton- eller letbetonelementer eller i nogen udstrækning i form af betonsandwichelementer.

Etageboliger er relativt kompakte bygninger, sammenlignet med enfamiliehuse, og opføres typisk med kælder. Kælderen benyttes bl.a. til føring af rør til varme og varmt brugsvand. Etageboliger har typisk radiator centralvarme, men gulvvarme er i de senere år blevet mere udbredt. Etageboliger er desuden kendetegnet ved at der i henhold til bygningsreglementets minimumskrav udføres et simpelt udsugningsanlæg uden varmegenvinding.

3.1.1.2 Screening (udviklings- og forskningsmuligheder)

Det vurderes ikke at være relevant at foretage screening på byggesystem-niveau, men at det er tilstrækkeligt at screene på grupper af hustyper, dvs. fritliggende enfamiliehuse (parcelhuse) og øvrige huse.

SWOT-analyse af fritliggende enfamiliehuse

Styrker: Markedet vil primært have traditionelle, billige huse frem for ”specielle” dyrere huse med f.eks. spring i facader og loft til kip, hvilket indebærer et relativt kompakt og dermed energirigtigt hus design. Husene opføres i vid udstrækning af typehusproducenter, som typisk har både ingeniører og arkitekter under samme tag, hvorved der er gode forudsætninger for design af integrerede lavenergiløsninger. Der er desuden et alsidigt tilbud af byggesystemer på markedet og dermed god konkurrence og dynamik i markedet. Tung gulvvarme med varmelagrings- og mulige selvregulerende egenskaber er en udbredt løsning i nye enfamiliehuse, hvilket er en fordel i relation til forsyning med energirigtig lavtemperatur varme baseret bl.a. på vedvarende energikilder. En relativ udbredt anvendelse af varmtvandsbeholdere (og dermed et mindre samlet effektbehov end ved brug af varmeveksler) er en styrke set i relation til udvikling og udbredelse af lavenergi fjernvarme til bebyggelser af enfamiliehuse.

Svagheder: Design af lavenergi-enfamiliehuse forudsætter fornuftige beregningsværktøjer til totaløkonomisk optimering og anvendelige metoder til den nødvendige integrerede designproces, hvilket der er udstrakt mangel på. Det er desuden et problem at der ikke er tradition for integration af vedvarende energi og ventilation med varmegenvinding, som er

oplagte løsninger til lavenergihuse. I forhold til idealet bygges der forholdsvis ukompakte huse i form af typisk længhuse i ét plan, der således har større varmetransmissionstab end mere kompakte huse med samme boligareal. Ydermere halter isoleringsniveauet i ydervægge efter niveauet i den øvrige isolerede klimaskærm, hvilket delvist skyldes at det er mere besværligt at øge isoleringstykkelsen. Diverse undersøgelser viser at der er problemer med varmeanlægs og særligt gulvvarmeanlægs energirigtige udførelse og regulering, samt at der mangler gode rutiner og procedure vedr. bygningsinstallationers idriftsættelse og drift.

Muligheder: Koncepter for mere kompakte huse, større grad af industrialisering (præfabrikation), klimaskærmskonstruktioner (herunder særligt vinduer) med effektive ubrudte isoleringslag uden kuldebroer, ventilation med varmegenvinding, anvendelse og integrering af solenergianlæg.

Trusler: Udviklingen af lavenergi-enfamiliehuse er hæmmet af en manglende tradition for integrerede design processer og totaløkonomiske metoder. Desuden er det problematisk at der generelt ikke findes danske vinduer med varmetekniske egenskaber, der er velegnet til lavenergihuse. De nuværende traditionsbundne ventilationsprincipper i form af naturlig ventilation eller mekanisk udsugning og varmepumpe, er begge omtrent energimæssigt sammenlignelige og uforenelige med lavenergibyggeri. Det er ligeledes problematisk at huses beskatningsmæssige areal beregnes ud fra udvendige mål. Desuden vanskeliggøres udvikling af reelle lavenergihuse af en uhensigtsmæssig brugeradfærd i form af let påklædning indendørs (høj indetemperatur) og en tendens til stigende kvadratmeterforbrug.

SWOT-analyse af sammenbyggede huse

Analysen af rækkehuse, dobbelthuse og lignende sammenbyggede huse er omtrent den samme som ovenfor. Styrken ved sammenbyggede huse er dog en større kompakthed, der betyder at transmissionsarealet er betydeligt mindre pr. kvadratmeter etageareal i forhold til fritliggende enfamiliehuse. Det er derfor nemmere at opnå et lavt energibehov pr. m². Derudover er der i modsætning til enfamiliehuse mulighed for effektive løsninger på fælles varmforsyning og centrale ventilationsløsninger med varmegenvinding.

SWOT-analyse af etageboliger

Styrker: Etageboliger er kompakte bygninger, så varmetabet fra klimaskærmen er relativt mindre end for andre boliger. Kompaktheden giver gode muligheder for centrale energieffektive løsninger vedr. opvarmning, varmt brugsvand og ventilation.

Svagheder: I etageboliger er der relativt store varmetab forbundet med cirkulation af varmt vand til opvarmning og varmt brugsvand. Ventilationen udføres som nævnt typisk som centrale udsugningsanlæg uden varmegenvinding, der funktions- og komfortmæssigt afhænger væsentligt af beboernes adfærd mht. betjening af især friskluftventiler (og udsugningsventiler). Der foretages typisk kollektiv energiforbrugsafregning i etageboliger, hvilket er uhensigtsmæssigt. Individuel forbrugsmåling og -afregning vil erfaringsmæssigt resultere i op til ca. 15 % energibesparelse.

Muligheder: Facadeløsningen er vigtig for etageboligers samlede energimæssige egenskaber i kraft af facadearealets betydelige andel af det samlede klimaskærmsareal. Der er store muligheder i form af integrerede klimaskærmsløsninger med lille varmetab og udnyttelse af solenergien, passivt og aktivt. Der er med baggrund i de udbredte problemer med træk fra friskluftventiler og et stort luftskifte (BR-krav på 0,5 gange i timen opfyldt for boligenhed ca.

100 m², og luftskiftet på 1 for en lejlighed på 50 m²), er der oplagte muligheder for at udvikle bedre ventilationsløsninger med behovsstyring og varmegenvinding.

Trusler: Mange boliger er udlejningsboliger, hvor lejerne betaler for energiforbruget. Dette giver ejerne et svagt incitament til at anvende lavenergiløsninger og er således en betydelig barriere for brug af integrerede lavenergiløsninger i etageboliger. En anden lignende barriere er den betydelige interaktion mellem boligenheder i form af forskelle i indetemperatur og klimaskærmsareal (varmetab) samt betjening af ventilationsanlæg.

3.1.1.3 Koblinger (sammenhænge mellem forskningen og byggeerhvervets teknologiske udfordringer)

Forskningen på universiteterne og de teknologiske udfordringer i byggeerhvervet med hensyn til udviklingen af lavenergiboliger vurderes at have god sammenhæng. Det er over de senere år skabt et godt grundlag for realisering af lavenergihuse med en fornuftig økonomi.

Der er f.eks. i samarbejde med branchen udviklet principper for bedre isolerede klimaskærmskonstruktioner med fokus på ydervægskonstruktioner til fremtidens byggeri og med det overordnede mål at stimulere udviklingen af lavenergihuse. Principperne er blevet afprøvet i en række parcelhus forsøgsbyggerier, der er udviklet og opført i samarbejde med typehusproducenter med henblik på at vise at det var muligt at reducere energibehovet i nye huse væsentligt uden større byggetekniske problemer og med en fornuftig totaløkonomi (merudgift på ca. 5%). Samlet set er der skabt et godt grundlag for videregående energikrav og det forventes at lavenergiklasse 1 huse med tilfredsstillende egenskaber vil kunne udvikles og optimeres over de kommende år, så dette niveau hurtigt kan indføres som minimumskrav i bygningsreglementet.

En oplagt teknologi til realisering af lavenergiboliger (både en- og flerfamiliehuse) er ventilation med varmegenvinding, hvor især mekanisk ventilation med varmegenvinding er kendt og relativt veludviklet. Teknologien er blevet behandlet indgående gennem flere bredt funderede samarbejdsprojekter.

Energieffektive løsninger til produktion og fordeling af varme og varmt brugsvand i etageboliger er et område der har været forsømt. I de senere år er der dog gennemført forskningsprojekter på området, som har påvist og dokumenteret at der et betydeligt energisparepotentiale på området. Der mangler dog umiddelbart en dialog og indsats med byggeerhvervet om nye koncepter minimering af rørføringer og bedre pladsforhold til etablering af bedre tekniske isoleringstykkelser med færre kuldebroer.

3.1.1.4 Behov og muligheder (byggeerhvervets behov og muligheder for forskning, teknologiudvikling og uddannelse)

Byggeerhvervets identificerede behov og muligheder for forskning, udvikling og uddannelse er i ikke-prioriteret rækkefølge følgende:

Integreret design

De nye energibestemmelser kalder på et tættere tværfaglige samarbejder (partnering) om energimæssige helheds løsninger. Energikoncept er et begreb der henviser til samme problemstilling. Der er et behov for udvikling og formidling af metoder og koncepter til integreret design af lavenergihuse med optimal totaløkonomi.

3D-skitseringsværktøjer, løsningsrum mv.

Der er behov for skitseringsværktøjer til den tidligere designfase, der nemt kan vise de energimæssige konsekvenser af alternative valg af bygningsorientering, bygningsform og -kompakthed, vinduesvalg osv.

Energispareprismetode til prioritering af løsninger

Der er behov for metoder til optimalt valg / prioritering af de mest omkostningseffektive energibesparende løsninger, der samtidigt opfylder alle funktionskrav. Det økonomiske sammenligningsgrundlag kan passende være den totaløkonomiske pris for at spare energi (kr./kWh), der direkte kan sammenlignes med energiprisen for at forsyne med energi.

Udnyttelse af kompakt bygningsgeometri

Kompakte huse er energibesparende huse. Kompakt bygningsgeometri er derfor en mulighed der bør udnyttes.

Indeklima og dagslys

Det er en udfordring at sikre et godt termisk indeklima og gode dagslysforhold i lavenergi-enfamiliehuse, så der er behov for særlig fokus på området.

Regulering af solindfald

Lavenergi-huse bør udformes, så passiv solvarme udnyttes bedst muligt. Det betyder at der er behov for at begrænse solindfaldet uden for fyringssæsonen, som i Danmark er op mod halvdelen af året. Der er behov for forskning i optimale udformninger og styringer af solafskærmningsløsninger

Integration af vedvarende energi

Integration af vedvarende energiforsyningsanlæg i form af både varme og el, herunder solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning og kombineret rum- og brugsvandsopvarmning.

Termoaktive konstruktioner

Der er behov for forskning i bedre termoaktive konstruktioner til opvarmning (og evt. køling), hvor varme afgives ved lav temperatur, så konstruktionerne får selvregulerende egenskaber, og hvor nedkøling af konstruktionerne om natten uden for fyringssæsonen kan hjælpe til med at reducere antallet af overtemperaturer i dagtimerne.

Energirigtig integrering af disponering af installationer

Der er energi at spare ved en mere helhedsorienteret projektering vedr. placering og føring af bygningsinstallationer.

Værdidebat – hvad er det gode lavenergi-hus ?

Der er behov for debat om og formidling af eksempler på det gode lavenergi-hus, så byggebranchen og andre kan inspireres til at bygge energirigtigt.

Commissioning (samordnet idriftsættelse)

Der er behov for bedre rutiner og procedure til verifikation og optimering af bygningsinstallationernes funktion i forbindelse med idriftsættelse og efterfølgende drift.

“Diagram”-energiforbrug - følsomhedskurver i energimærkningen

Energiforbruget i lavenergi-huse afhænger betydeligt af parametre som indetemperatur, internt varmetilskud mv., hvilket bør formidles til husejeren af hensyn til lavenergi-huses image og opnåelse af yderligere energibesparelser ved ansparing til energirigtig adfærd. Derfor er der

behov for på passende vis at integrere følsomhedsberegninger i energimærkningen af nye lavenergihuse.

Adfærd som projekteringsparameter

Større hensyntagen til beboernes adfærd og de energimæssige konsekvenser.

Markedsføring af energimæssigt bedre enfamiliehuse

Der er muligheder for et stort marked for energimæssigt bedre enfamiliehuse, hvis en mere udbudsorienteret byggebranche retter mere fokus på lavenergi-koncepter og udbud af lavenergihuse sammenholdt med en målrettet markedsføring. Energiproblemerne i form af knappe ressourcer af fossile energikilder og stigende oliepriser er betydningsfulde gratis referencer i markedsføringen.

Energikvalitetskontrol - måling af energisignatur mv.

Energiforbruget i lavenergihuse er følsomt over for den energimæssige kvalitet i de udførte lavenergiløsninger. Erfaringerne viser at der kan være stor forskel på beregnet og målt energiforbrug. For at styrke forbrugerinteressen og -tilliden til lavenergihuse, bør det overvejes at udforme en energikvalitetsordning, hvori der kan indgå måling af energisignatur under kontrollerede forhold, der er en grafisk repræsentation af varmekonsum pr. døgn som funktion af døgnmiddel udetemperaturen. Denne skal bruges til en kontrol af energimærket. Desuden kan der indgå en trykprøvning til kontrol af lufttæthed og termografering til identificering af isoleringsfejl mv.

Enfamiliehuse som totalprodukt

Enfamiliehuse leveres i dag ikke som totalprodukt eller samlet pakkedesign, dvs. at servicering af varme- og ventilationsanlæg, vedligeholdelses- og renoveringsplaner, finansiering mv. er ikke inkluderet og kunden skal således henvende sig til andre leverandører. Det ville være naturligt, mere effektivt, kundevenligt og formentligt energibesparende, hvis byggeriet tilbød kunderne huse som totalprodukt, dvs. en totalleverance baseret på en række underleverancer af integrerede produkter, der leveres med udgangspunkt i fælles standarder.

Kvadratmeterforbrug

Der er formentlig optimeringsmuligheder med hensyn til kreativ disponering og udformning af enfamiliehuse, der kan begrænse forbruget af boligareal. Dette vil være energibesparende og alt andet lige give økonomisk råderum til f.eks. yderligere energibesparelser.

Integrering af bolig og kontor

Enfamiliehuse med integrerede kontorfaciliteter er en udviklingsmulighed, som kan blive attraktivt i fremtiden, og som har lavenergiaspekter i relation til kvadratmeterforbrug, transportforbrug mv.

Helhedsløsninger

Den energimæssige påvirkning af de enkelte boligenheder i lavenergi-etageboliger afhænger i væsentlig grad af lejlighedsstørrelse, beboerantal, placering og adfærd. Der er således brug for helhedsløsninger der tager hensyn til disse forhold.

Bedre facadeløsninger med fokus på dagslys

Der er behov for forskning i energimæssigt bedre facadeløsninger med fokus på dagslysindfaldet, da bedre isolering af ydervæg og vinduer typisk alt andet lige vil begrænse dagslysindfaldet.

Bedre decentrale ventilationsløsninger med varmegenvinding

Centrale ventilationsløsninger kan være problematiske pga. beboernes individuelle behov, præferencer og støjfølsomhed. Der er derfor behov for udvikling af bedre decentrale løsninger med varmegenvinding, der er støjsvage og som eventuelt har mulighed for forvarmning og køling.

Udnyttelse af kompakt bygningsgeometri

Der er i forhold til traditionel byggeskik muligheder for energibesparelser ved bedre udnyttelse af kompakt bygningsgeometri. Etageboliger har en høj kompakthedsgrad i forhold til andre boliger (f.eks. fritliggende enfamiliehuse), men kan optimeres yderligere ved at bygge mindre aflangt og undgå spring i bygningsfacader mv. Mulighederne skal undersøges i relation til arkitektonisk kvalitet, dagslysforhold mv.

Regulering af solindfald

Effektiv regulering af solindfaldet ved hjælp af udvendig solafskærmning anvendes traditionelt ikke i etageboliger, men det er relevant i højsolerede boliger for at styre indeklimaet.

3.1.1.5 Fokusområder

Fokusområderne for de relevante forskningsinstitutioner vil være baseret på tidligere og igangværende FoU projekter.

3.1.2 Lavenergikontorer, -skoler, -institutioner mm.

3.1.2.1 Beskrivelse af delområde

Lavenergikontorer mv. er i mindre grad end boliger domineret af et stort opvarmningsbehov, da gratisvarmen kan dække varmebehovet i store dele af fyringssæsonen. Til gengæld er der ofte betydelige energiforbrug forbundet med ventilation, køling og distribution af varme og varmt brugsvand. Ventilation i disse bygninger er betydeligt større end i boliger og den afhænger af lokalernes komfortkrav og benyttelsestid samt tilstedeværende forureningskilder og termiske belastninger. Der er desuden ofte behov for køling på trods af effektive solafskærmningsløsninger, hvilke i nogen udstrækning klares ved brug af frikøling eller i form af termoaktive dækkonstruktioner.

Kontorbyggeri er relativt kompliceret byggeri. Af rationelle grunde opføres det typisk som etagebyggeri. Der anvendes i stor udstrækning betonelementer, betonsandwichelementer og glasfacader. Der kræves ikke mekanisk ventilation af nyt kontorbyggeri, så der anvendes både naturlige, mekaniske og hybride ventilationsløsninger. Indeklima og energiforbrug i kontorbyggeri afhænger meget af de termiske belastninger og valg og dimensionering af samt styring af ventilationssystemet. Der er større krav til temperaturniveauer i kontorbygninger end i andre bygninger på grund af mindre fleksibilitet med hensyn til påklædning. Den udbredte anvendelse af glas i kontorhuse kræver typisk anvendelse af en passiv og/eller aktiv solafskærmning i facaderne. Kontorbyggeri projekteres som oftest af større tværfaglige designteams.

Skolebyggeri er i særdeleshed ikke standardbyggeri og opføres typisk i få etager. Der er ofte stor fokus på indeklimaet og især ventilation, da det har positiv betydning for motivation, koncentration og indlæringssevne. De betydelige personbelastninger af undervisningslokaler stiller store krav til ventilationen. Bygningsreglementets krav er som udgangspunkt at der skal benyttes et mekanisk ventilationsanlæg med både indblæsning og udsugning. Kravet kan dog fraviges under forudsætning af, at der kan opretholdes et sundhedsmæssigt tilfredsstillende indeklima.

Institutionsbyggeri opføres af praktiske grunde i typisk én etage. Opholdsrum i institutioner skal ifølge bygningsreglementet ventileres med et mekanisk ventilationsanlæg med både udsugning og indblæsning, da det ikke er påvist at anvendelse af naturlig ventilation kan give sundhedsmæssigt tilfredsstillende forhold. Det dispenseres dog i nogen grad for dette krav, især hvis der anvendes hybrid ventilation.

I relation til øvrige bygningstyper, er det især industribygninger, der er relevante energimæssigt set. Industribygninger er helt eller delvist opvarmet og indeholder typisk en lager- og/eller produktionshal samt arealer til administration. Større industribygninger opføres overvejende som systemløsninger (typehuse for industrien) baseret på et bjælke-søjle-system med udfyldningselementer, hvorved store dele af facader og gavle kan udformes frit, da disse ikke indgår i det bærende og afstivende system. Industribygninger kan også være såkaldte skivehaller, hvor facader og gavle er bærende bygningshøje sandwichelementer. Industribygninger bruges til forskellige formål, og i ca. 80 % af tilfældene er der tale om en opvarmet lagerhal (mere end 15 °C), hvor en god varmeisolering er påkrævet.

3.1.2.2 Screening (udviklings- og forskningsmuligheder)

SWOT-analyse af kontorer

Styrker: Kontorbygninger har relativ stor kompakthed samt kontrolleret, balanceret ventilation som standard.

Svagheder: Den integrerede designproces prioriteres ikke altid af alle parter. Dagslys er typisk dimensioneringsgivende med hensyn til bygningsform. Erfaringer fra et højisoleret kontorbyggeri med glasfacader har påpeget nogle svagheder, som har resulteret i en række projekteringsråd: fokus på optimering af bygningsorientering, detaljerede analyser af vindues- og glasfacadearealer, brug af detaljerede varmetabsberegninger af kuldebroer (især transparente arealer og fundamenter), nøje vurderinger af komforttemperatur samt fokus på god udnyttelse af gratisvarmen.

Muligheder: Der er gode muligheder for at udvikle klimaskærmskonstruktioner med færre/reducerede kuldebroer. Det er også muligheder for at udvikle løsninger til sikring af tilstrækkeligt dagslys med mindre transparente arealer og tykkere facader, men det er en stor udfordring. Desuden er der forskningsmuligheder vedrørende ventilationsformer baseret på kontrolleret naturlig ventilation eller hybrid-ventilation med varmegenvinding samt metoder minimering af kølebehov ved passive tiltag.

Trusler: Konstruktioner med kuldebroer, er en barriere i relation til udvikling af lavenergi-kontorbygninger. Desuden er den udbredte anvendelse af traditionelle store glasfacader (som ofte vælges af hensyn til image og signalværdi) problematiske pga. et stort kølebehov om dagen og ditto varmetab om natten.

SWOT-analyse af skoler/institutioner

Styrker: Erfaringer fra praktiske lavenergibyggerier af skoler og institutioner viser at man ikke behøver at gå på kompromis mht. det vigtige indeklima.

-

Svagheder: Høje krav til indeklimaet, der resulterer i luftmængder svarende til et luftskifte på ca. 3 gange i timen eller 6 gange mere end i boliger. Der er generelt problemer med dårlig styring af ventilationsanlæg, hvilket resulterer i unødigt stort elforbrug. Elforbruget til belysning er typisk betydeligt, hvilket bl.a. er problematisk i relation til energirammen, hvor elforbrug til fastmonteret belysning indgår med en faktor 2,5.

Muligheder: Integrerede design løsninger, hvor varme- og ventilationsanlæg er en integreret del af bygningen. Bedre regulering og drift af varme-, ventilations og belysningsanlæg. Skoler og institutioner opføres af kommunerne, og med nye kommende storkommuner vil der alt andet lige være flere ressourcer til at sætte fokus på energiforbruget.

Trusler: Brugeradfærd i relation til varme-, ventilations- og belysningsanlæg; justering af termostater, åbning af vinduer, manuelt regulerede belysningsanlæg mv.

SWOT-analyse af industribygninger

Styrker: Standardelementer, gennemprøvede samlinger, fleksibelt byggeri, kort byggetid og optimal økonomi. Bygninger med bjælke-søjle-system har typisk omkring 80 % af

facadearealet afsat til det ikke-bærende element, hvilket giver gode mulighed for alternative og energibesparende løsninger.

Svagheder: Et stort rumvolumen betyder relativt store transmissions- og ventilationstab. Generelt er kuldebroer i form af afstivende og afsluttende ribber i elementernes periferi et problem (typisk anvendes der kun op til 50 mm kuldebroløsning). Tilslutninger omkring vinduer, døre, ovenlys og porte samt fundamenter er andre væsentlige kuldebroer. Bjælke-søjle-systemet giver dog typisk anledning til større problemer med kuldebroer end f.eks. skivehaller.

Muligheder: Generelt at udvikle et energirigtigt system af løsninger til industri byggeri. Elementer og bygningsdele med bedre varmetekniske egenskaber. Anvendelse af termoaktive huldæk elementer i gulv/loft og etageadskillelser til køling og opvarmning, hvilket er oplagt pga. store arealer med synlig beton og ideelt for anvendelse af alternative energikilder.

Trusler: Produktions-, og montagemæssige forhold spiller væsentligt ind i forbindelse med udvikling system-elementløsninger med større isoleringstykkelse, termoaktive egenskaber mv. Prisen for de energimæssige forbedringer kan vise sig at være for høj. De lydmæssige krav kan begrænse udbredelsen af de lovende og perspektivrige termoaktive løsninger.

3.1.2.3 Koblinger (sammenhænge mellem forskningen og byggeerhvervets teknologiske udfordringer)

Der er generelt en relativt god sammenhæng mellem forskningen og de teknologiske udfordringer i byggeerhvervet. Det tyder dog på at der mangler viden om integreret design og passive ”køle” løsninger i relation til opførelse af lavenergikontorbygninger med et godt og stabilt indeklima. Energirigtig drift af bygningsinstallationer er et andet område, hvor der er udfordringer som kræver bedre viden og samarbejde.

3.1.2.4 Behov og muligheder (byggeerhvervets behov og muligheder for forskning, teknologiudvikling og uddannelse)

Byggeerhvervets identificerede behov og muligheder for forskning, udvikling og uddannelse er i ikke-prioriteret rækkefølge følgende:

Helhedsorienteret designproces

Kompleksiteten ved lavenergi-kontorbyggeri er betydeligt større end for boliger. Derfor er særligt vigtigt med en helhedsorienteret ”partering” designproces, hvor arkitekter, bygnings(energi)ingeniører, bygningskonstruktører og udførende entreprenører fordomsfrit og målrettet samarbejder om optimering af bygningsdesignet gennem analyser af indeklima og energiforbrug, som grundlag for et energirigtigt design af bygningen. Det nye behov svarer til at ingeniører og konstruktører indtræder i designprocessen tidligere end normalt, dvs. allerede i starten af processen, når bygningen formgives af arkitekten. Der er behov for både udvikling af metoder og processer og videnformidling til byggeriets parter.

Totaløkonomi i projekteringsfasen

Der er behov mere fokus på totaløkonomi i projekteringsfasen. Der er behov for at udvikle simple værktøjer til vurdering af totaløkonomien (anlægs- og driftsudgifter) i alternative løsningsforslag set over en passende tidshorisont.

Commissioning

Der er behov for bedre rutiner og procedure til verifikation og optimering af bygningsinstallationernes funktion i forbindelse med idriftsættelse og efterfølgende.

Naturlig (eller hybrid) ventilation med varmegenvinding

Der er lovende muligheder i naturlig ventilation med varmegenvinding, som alternativ til mekanisk ventilation med varmegenvinding, men et stort behov for forskning og udvikling i praktisk anvendelige, energieffektive og billige løsninger.

Behovsstyring af ventilationssystemer mm.

Der er behov for fokus på behovsstyring af bygningsinstallationer, herunder kunstig belysning, hvor der ligger et stort energisparepotentiale. En mulighed for individuel overstyring er erfaringsmæssigt vigtig af hensyn til brugertilfredshed.

Avanceret og integreret styring af varmetilskud og køling med simple brugerflader

I lavenergi kontorbygninger er det vigtigt med en integreret styring af varmetilskud og kølebehov for at undgå overflødige energiforbrug og opretholdelse af et stabilt indeklima. Der vil være behov for relativt detaljerede og avancerede styringer, som behøver passende simple brugerflader.

Bygningsintegrerede varme-, køle- og ventilationssystemer

Der er betydelige fordele ved bygningsintegrerede varme-, køle- og ventilationssystemer. Der er samtidig store behov og muligheder for forskning og udvikling samt uddannelse af byggeerhvervet indenfor området.

Bearbejdning af kuldebroer

Der er behov for at reducere bl.a. konstruktive kuldebroer i relation til bærende konstruktioner.

Hensyntagen til fleksibilitet i anvendelsen

En generel trend er øgede krav til mere fleksible kontorbygninger. Det er afgørende, at løbende organisatoriske ændringer, opdateringer mv. kan foretages nemt og uden at forstyrre den øvrige drift. Der er muligheder for udvikling af bedre koncepter for fleksible kontorbygninger med fokus på økonomi og energiforbrug, der vil kunne reducere eller helt fjerne behovet for store, fordyrende ombygninger.

Værktøjer/programmer til integreret design

Der mangler formidlingsvenlige værktøjer/programmer til integrerede design løsninger, herunder programmer til beregning af dobbeltfacader.

Intern varme/kulde-fordeling

Der kan være stor forskel på den termiske belastning i kontorbyggeri, således at nogle bygningsafsnit på samme tidspunkt har varmeoverskud (og evt. kølebehov), mens andre har underskud (varmebehov). Der er behov for forskning i betydningen af aktiv intern omfordeling af varme/kulde.

Dagslys i relation til lavenergibyggeri

Lavenergitiltag som reduktion af transparente arealer, større kompakthed (dybere rum) og mere ydervægisolering (tykkere facader) reducerer dagslysindfaldet. Der er behov for forskning i problemets omfang og gode løsninger, der sikrer et godt dagslys og minimalt brug af kunstig belysning.

Effektive og driftssikre udvendige solafskærmninger

Der er identificeret et stort behov for at udvikle effektive og driftssikre udvendige solafskærmninger, som er en forudsætning for opretholdelse givne indeklimaforhold på en energieffektiv måde i lavenergibygninger. Et aspekt i dette er en større udbredelse af servicerings- og vedligeholdelseskontrakter.

Er opvarmede industrihaller overset energimæssigt ?

Der mangler viden om sådanne bygningers varmetekniske ydeevne mm. og potentialet for energibesparelser, der umiddelbart vurderes at være stort. Dette bør være udgangspunktet for udvikling af lavenergi-industribygninger.

Energirigtigt system af løsninger til industri byggeri

Der er behov for udvikling af energimæssigt bedre løsninger til alle former for industribygninger, hvor der er taget højde for en fleksibel anvendelse, herunder termoaktive konstruktioner/elementer.

Personlig ventilation

Solceller til solafskærmning

Færre forureningskilder = reduceret ventilation

Integration af ikke-boliger med boliger

Bedre indeklima med energieffektiv ventilation og tilstrækkelig varmegenvinding uden køling

Bedre produkter, projektering, drift og vedligehold vedr. ventilationsanlæg

Dagslys vs. kunstig belysning

Formidling og brug af eksisterende løsninger (fordele og ulemper)

3.1.2.5 Fokusområder

Fokusområderne for de relevante forskningsinstitutioner vil være baseret på tidligere og igangværende FoU projekter.

3.2 Klimaskærm

Klimaskærmen kan defineres som de konstruktioner, der skærmer mod udeklimaet, dvs. ydervægge, gulv- og tagkonstruktioner, vinduer og døre mv. I nogle bygninger udformes dele af klimaskærmen af større glasfacader og glastage, hvor der typisk er et behov for solafskærmning.

Klimaskærmen kan yderligere opdeles i fire delområder, som behandles separat under følgende overskrifter:

Tunge klimaskærmskonstruktioner
Lette klimaskærmskonstruktioner
Energivinduer samt
Glasfacader og –tage og solafskærmninger

De isolerede klimaskærmskonstruktioner er som det fremgår opdelt i hhv. lette og tunge konstruktioner. Dette afspejler den traditionelle opdeling i lette og tunge ydervægge, der tidligere og indtil 2006 fremgik af bygningsreglementerne, hvor der har været stillet forskellige varmetekniske krav til de to typer. ”Tung” og ”let” skal i høj grad forstås som ”massiv” og ”skelet”, da det ikke primært er massen der adskiller dem, men snarere om det bærende element er en massiv konstruktion eller en skeletkonstruktion.

De isolerede klimaskærmskonstruktioners energimæssige egenskaber afhænger især af de isoleringsmaterialer der anvendes. Der findes i bilag C en oversigt over bygningsisolering med beskrivelse af egenskaber og fordele og ulemper mv.

3.2.1 Tunge klimaskærmskonstruktioner

3.2.1.1 Beskrivelse af delområde

Tunge klimaskærmskonstruktioner omfatter konstruktioner, hvor det bærende element er massivt, dvs. hvor det bærende ikke består af pladebeklædte træ- eller stålskeletkonstruktioner. Disse konstruktionstyper behandles separat under delområdet ”Lette klimaskærmskonstruktioner”. Konstruktionerne kan beskrives som bygningsdele opbygget af materialer og delelementer.

Materialer og delelementer, der indgår i tunge klimaskærmskonstruktioner: helvægselementer i beton, helvægselementer i letklinkerbeton, vægelementer i porebeton, teglvægge til bagmure og skillevægge, dækelementer i beton og letbeton, tagelementer i beton og letbeton, letklinkerblokke, løse letklinker, plader og blokke i porebeton, mursten, mineraluld, polystyren og andre traditionelle og alternative isoleringsmaterialer, fugtisoleringsmaterialer, fugematerialer, bindere, ståldele, vinduesmontagebeslag mv.

Bygningsdele i form af hele konstruktioner med direkte brugsværdi:

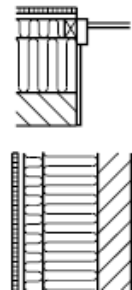
Dobbeltvægge

- Ydervægge, hvor bagvæggen optager lodret og vandret last i væggens plan og hvor både bagvæg og formur optager last vinkelret på væggen via bindere mellem de to vanger. En dobbeltvæg er altså en væg, hvor der ikke er store stivhedsforskelle mellem formur og bagvæg i modsætning til en ren skalmur, hvor formuren er så slap at den i praksis ikke bidrager til bæreevnen.

- I dobbeltvægge er bagvægsmaterialet letbeton eller murværk, og formuren er murværk. Hvis begge vanger er af murværk kaldes væggen samtidig en hulmur.
- Dobbeltvægge er en del af traditionel dansk byggeskik og benyttes i lavt byggeri af forskellig art. Den typiske isoleringstykkelse i dobbeltvægge har i mange år været 125 mm.
- Dobbeltvægge har statisk nødvendige falselementer eller ommuringer omkring vindues- og døråbninger.
- Isoleringsevnen afhænger af bagvægsmaterialet, men betydningen er lille (højest ca. 10 %) ved normale isoleringstykkelser.
- Dobbeltvægge opføres traditionelt på byggepladsen i to trin; etablering af råhus samt udførelse af isolering og formur. Der forskes og udvikles hovedsageligt med hensyn til de materialer der indgår i produktet og hvordan de kan skræddersyes til at indgå i produktet.
- Produktet er solidt og uden organiske materiale, der giver god holdbarhed og kræver begrænset vedligeholdelse.

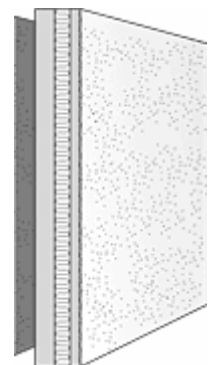
Bærende bagvæg (let regnskærm eller skalmur)

- I ydervægge med indvendig bærende bagvæg, er der store stivhedsforskelle mellem formur og bagmur, så formuren i praksis ikke bidrager til bæreevnen og bliver til en ren skalmur.
- Hele den bærende og afstivende del af konstruktionen (termiske masse) er placeret på den indvendige side af isoleringen.
- Bagvæggen udføres som helvægge i beton eller letklinkerbeton.
- Udvendigt benyttes enten en ophængt let regnskærm i form af eksempelvis træbeklædning eller skærmtegl eller en formur af murværk.
- Valget af regnskærm har betydning for udformningen af bl.a. fundamentet.
- Bærende bagvæg benyttes i mange forskellige bygningstyper.
- Konstruktionen opbygges i flere arbejds gange på byggepladsen og kræver når der anvendes skalmur et separat fundament eller bæring via beslag fastgjort i bagvæg.
- Der foregår udvikling af effektive løsninger, f.eks. tilbyder flere isoleringsproducenter nu nye fleksible systemløsninger til effektiv udvendig ydervægsisolering med et minimum af kuldebroer, hvor isoleringen fastgøres til den bærende bagvæg.
- De bærende betonelementer produceres traditionelt og effektivt på fabrik, hvorefter de transporteres til byggepladsen, hvor de monteres. Efterfølgende etableres isolering og underlag for regnskærm eller der opføres murværk.
- Konstruktionen er en solid konstruktion og dens vedligeholdelse afhænger primært af valg af regnskærm.



Etagehøje betonsandwichelementer

- Etagehøje betonsandwichelementer benyttes i alle former for byggeri.
- Konstruktionen består af en bagstøbning, isolering og en forstøbning, der er ophængt i i bagstøbningen.
- Som for skalmure er den bærende del placeret på den indvendige siden af isoleringen, så konstruktionen har gode varmeakkumuleringssegenskaber.
- Elementerne udføres typisk med ikke-bærende ribber omkring vindues- og døråbninger og ved elementsamlinger, hvor isoleringstykkelsen er reduceret til ca. 50 mm.
- Betonsandwichelementer er blevet produceret industrielt som hele og færdige klimaskærmslementer siden starten af 1960'erne.
- Producenterne kan i nogle tilfælde levere en samlet projektering af alle elementer i et



byggeri samt statiske beregninger, men ofte er det byggeriets rådgivende ingeniør der projekterer.

- Vedligeholdelse og renovering af byggerier med betonsandwichelementer drejer sig primært om fuger og overflader.

Bygningshøje betonsandwichelementer

- Bygningshøje betonsandwichelementer anvendes primært i industribyggeri og omtales derfor ofte som industrielementer.
- Typisk udføres elementerne med bæreribber i bagstøbningen, som er væsentlige kuldebroer, men som udføres af økonomiske og produktionstekniske årsager.
- Producenterne kan typisk levere en samlet projektering af elementer og statiske beregninger.



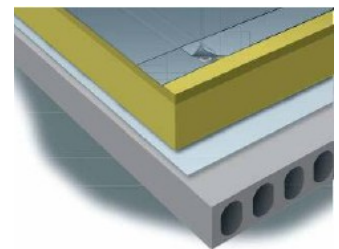
Massive ydervægge

- Massive ydervægge opføres i dag primært ved opmuring af vægtykke blokke i porebeton eller porøs tegl. Varmeledningsevnen for de to materialer er omtrent den samme (ca. 0,11-0,12 W/mK).
- Teglblokkene kan dog fås med varmeledningsevne ned til 0,08 W/mK, når blokkene er fyldt med ekspanderet perlit.
- Massive ydervægge kan anvendes i alle bygningstyper.
- En massiv ydervæg har omtrent samme varmetab og varmeakkumulerende egenskaber som traditionelle ydervægge.
- Den massive mur har en konstant isoleringsevne, da luft i porerne er indkapslet, og der er således ikke risiko for utilsigtede konvektionstab.
- Densiteten for massive ydervægge er 50-70 % lavere end traditionelle ydervægge.
- Der er tale om en homogen og stærk væg og dermed er der mulighed for større vægfelter uden ekstra forstærkninger.
- Materialet er relativt nemt at forme og tilskære.
- Massive ydervægge er prismæssigt på niveau med andre tunge ydervægskonstruktioner.



Betondæk med udvendig tagisolering

- Betondæk med udvendig tagisolering er tagkonstruktioner af beton- eller letklinker-betondækelementer med udvendig isolering, såkaldte ”varme tage”.
- Konstruktionen opbygges typisk af beton, dampspærre, tagisolering og tagpap eller tagfolie som regnskærm.
- Der findes to hovedtyper af konstruktioner, hvor fald på tagfladen enten indbygges i betonunderlaget eller etableres ved at anvende kileskåret isolering.
- Dampspærren kan i visse tilfælde udelades, hvis den underliggende konstruktion er tæt nok i sig selv, hvilket f.eks. gælder pladsstøbt beton, samt når man vil forhindre at isolering, der er blevet opfugtet af manglende eller utilstrækkelig afdækning, bliver lukket inde. Men selv uden dampspærre, vil udtørring tage flere år, så opfugtning skal selvfølgelig undgås.
- Udeladelse af dampspærre skal være gennemtænkt, da den kan hindre byggefugt fra betondækket i at ophobes i tagisoleringen og den kan fungere som midlertidig tætning i

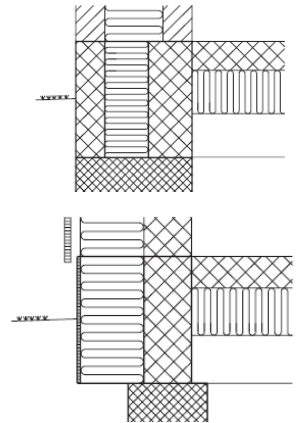


byggeperioden. Der skal som minimum altid udføres en strimling med tagpap af betonelementsamlinger og tilslutninger for at sikre lufttæthed.

- Den dominerende fastgørelsesform er i dag mekanisk fastgørelse med skruer eller søm i stål og skiver, og fastgørelsen foretages normalt gennem og samtidig med tagdækningen, hvad enten denne består af tagpap eller tagfolie. Der er dog med de tilgængelige løsninger muligt at anvende klæbning af tagisoleringen.

Fundamenter

- Fundering skal ske til frostsikker dybde og bæredygtig bund (jf. bygningsreglementet).
- Fundamenter udføres i forskellige materialer, som er afhængig af hvilken last de skal overføre til jorden.
- Fundamenter består nederst altid af beton støbt direkte mod bæredygtig jord eller mere almindelig forskalling, hvis bredde afgøres af lasten fra bygningen og jordens bæreevne, og som er frostsikret ved typisk at føre det ned til en dybde af 90 cm under terræn.
- Når det af styrkehensyn er muligt, afløses betonen i den øvre del af fundamentet af letklinkerblokke og egentlig isolering, for at reducere varmetabet.



Typiske fundamentstyper er fundamenter til dobbeltvægge med isolerende sokkel, fundamenter af beton til skalmurede betonelementer, hvor der er i den øvre del er udført midterisolering, fundamenter af beton med udvendig isolering eller isoleret sokkel af letklinkerblokke til etagehøje betonsandwichelementer og bygningshøje betonsandwichelementer, fundamenter ved døre og vinduer til gulv, fundamenter til bærende skillevægge og kælderfundamenter.

Fundamenter til kombinationsvægge anvendes til lavt byggeri, hvor soklen typisk udføres som letklinkerblokke med integreret midterisolering eller som delte letklinkerblokke med isolering imellem. Desuden findes der et funderingssystem baseret på udstøbningselementer i trykfast isolering og relativt lille funderingsdybde, som er anvendt i flere år i vores nabolande og som er blevet den mest anvendte funderingsmetode i Sverige. Systemet er egnet til byggeri i 1 og 1½ plan. Hvis forholdene tillader det kan de normale 90 cm til frostfri dybde fraviges ved isolering eller opvarmning.

Fundamenter til betonelementbyggeri udføres ofte af beton pga. styrkehensyn. Fundamenter under betonelementer udføres også ofte med en sokkel af letklinkerblokke. Dette kan være almindelige letklinkerblokke 600 ($\lambda = 0,23 \text{ W/m K}$) eller ved større belastninger med letklinkerblokke 800 ($\lambda = 0,30 \text{ W/m K}$). Sidstnævnte anvendes også ofte ved etagebyggeri. Ved at anvende letklinkerblokke med meget lavere varmeledningsevne end beton opnås væsentlig bedre linietafsværdier.

Betonsandwichelementer skal kun understøttes under bagstøbningen således at isoleringen i vægelementet kan føres ned forbi fundamentet. Hvilken isoleringstykkelse der er plads til foran fundamentet afhænger af den nødvendige fundamentsbredde og elementtykkelsen. Skalmurede elementer har også behov for understøtning af formuren, hvilket gør det svært at etablere en god fundamentsisolering. Linietafet for typisk udformede fundamenter til betonelementbyggeri er ofte betydeligt, hvilket skyldes at hele fundamentet (også soklen) af styrkehensyn må udføres i beton, der er en god varmeleder. Linietafet er omtrent en faktor 2 større end linietafet for fundamenter til lavt boligbyggeri, men der er mindre

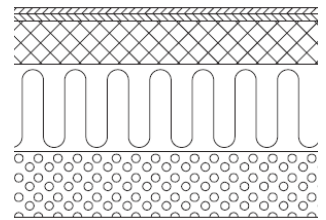
fundamentlængde pr. facadeareal i betonelementbyggeri. Linietafet i industribygninger med tungt belastet terrændæk uden isolering vil typisk være fornuftigt, hvis det isoleres med 150 mm løse letklinker eller tilsvarende.

I små moderat belastede industribygninger med let tag (3-5 m høj, 1-etage) og bygninger i få etager og med bagvægge i beton- eller letklinkerbeton, kan soklen ofte udføres i letklinkerbeton, hvilket reducerer linietafet. Men det afhænger dog meget af udformningen og formålet med den enkelte bygning (egen- og nyttelast).

Fundamenter ved døre og vinduer til gulv og bærende skillevægge samt lavtliggende kælderfundamenter er i almindelighed årsag til betydelige linietaf. Dette skyldes primært konstruktive forhold i form af nødvendige gennembrydninger af isoleringslagene med stærkt varmeledende materialer.

Terrændæk og kælderdek mod jord

- Kælderdek mod jord udføres konstruktionsmæssig som almindeligt terrændæk og behandles derfor ikke særskilt.
- Terrændæk er meget udbredt, da lavt boligbyggeri normalt ikke udføres med kælder.
- Terrændæk opbygges på følgende måde: Svømmende eller strø gulv, en let armeret trykfordelende betonplade, et varmeisolerende lag over og/eller under betonplade og et kapillarbrydende lag, alternativt et kombineret varmeisolerende og kapillarbrydende lag. Herudover indeholder konstruktionen eventuelt en fugtspærre.
- Den normale isoleringstykkelse i terrændæk, hvor der som regel er gulvvarme, er i dag omkring 250 mm. Isoleringstykkelsen kan øges uden store følgevirkninger, bortset fra ekstra afrømning af jord og eventuelle problemer med sætninger i isoleringslaget.
- For at bryde kuldebroen mellem fundament og betonpladen anvendes typisk en lille kantisolering, som også har til formål at sikre at betonpladen ikke hænger på fundamentet, hvilket eliminerer risikoen for at betonklaplaget senere slår revner.
- Tæthed mod fugt og luftopstrømning (radon) fra jorden sikres ved at klæbe murpap henover kantisoleringen. En meget almindeligt anvendt og mere sikker (tæt) løsning er at udføre en selvbærende betonplade, der går ind over og hviler på den inderste del af fundamentet.



Terrændæk beregnet for tung belastning

- Terrændæk beregnet for tung belastning anvendes i industribygninger til forskellige formål, og i mange tilfælde er der tale om en opvarmet lagerhal, hvor en god varmeisolering er ønskelig eller påkrævet.
- Det maksimale varmetab fra terrændæk beregnet for tung belastning måtte tidligere være dobbelt så stort som for almindelige terrændæk. I henhold til nugældende krav til mindste varmeisolering, skelnes der ikke mellem de to typer terrændæk, således at U-værdien højest må være $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ for begge. Dette krav kan opfyldes med f.eks. et lag løse letklinker på 150 mm eller med et lag traditionel trykfast isolering, hvis belastningsforholdene tillader det.

Kældervægge mod jord

- Kældervægge mod jord udføres typisk af pladsstøbt beton, betonelementer, betonsandwichelementer, udstøbningsblokke af beton eller letklinkerbeton eller massive letklinkerbetonblokke, samt isolering.

- Kældervægge isoleres bedst udvendigt, hvilket er den fugttekniske mest sikre løsning, da væggen bliver varmere og dermed tør. Der er mulighed for at øge isoleringstykkelsen vilkårlig uden andre ekstra udgifter end selve merisoleringen.
- Typisk anvendes et traditionelt trykfast isoleringsprodukt eller løse letklinker, men ved ekstraordinære krav til fugttekniske egenskaber og trykstyrke kan f.eks. anvendes et høj kvalitetsprodukt som celleglas, som dog både er dyrere og lidt dårligere isolerende.
- Der findes en sandwichelement løsning af beton, der sikrer en optimal og ubrudt isolering fra stueplan til fundament, men af produktionstekniske årsager er der begrænsninger på den totale tykkelse, som betyder at den maksimale isoleringstykkelse er 125-150 mm. Produktet produceres som standard med ribber omkring kældervinduer og -døre med ca. 30 mm isolering.
- Der findes også på markedet en effektiv konstruktion baseret på rilleblokke af letklinker, hvor der er jordtryk på væggen, kombineret med letklinkerblokke med midterisolering i overgange ved terræn og over jord.

3.2.1.2 Screening (udviklings- og forskningsmuligheder)

Der er på bygningsdelsniveau foretaget en screening af forsknings- og udviklingsmuligheder for tunge klimaskærmskonstruktioner.

SWOT-analyse af Dobbeltvægge

Styrker: Traditionel byggeskik og en robust og velkendt byggeteknik. Det udvendige murværk har for mange mennesker en særlig æstetisk værdi og et udseende, der sjældent bliver dårligere med årene.

Svagheder: Opføres traditionelt på byggepladsen under påvirkning af vejrforholdene og er relativt tidskrævende (gælder særlig ved fuldmuret pladsopført byggeri). Prisen for en mur af mursten er ca. 1200 kr. pr. m², svarende til ca. 20 kr. pr. mursten, hvoraf materialeprisen kun er ca. 2-3 kr. pr. sten. Dette indikerer en meget betydelig prisandel til arbejds løn mv. og stort potentiale for besparelser ved større grad af industrialisering. Dobbeltvægge har relativ stor vægtykkelse i forhold til isoleringstykkelse, og har betydelige kuldebroer i form af afstivende falselementer og ommuringer. En anden ulempe er at fundamentstykkelsen øges med isoleringstykkelsen.

Muligheder: Kan opfylde skærpede energikrav på en konkurrencedygtig måde ved udvikling af højisolerede, integrerede og smalle løsninger med bedre forhold mellem isoleringstykkelse og samlet vægtykkelse og løsninger. Et nyt lovende koncept til fuldmuret byggeri i form af præfabrikerede teglvægge til bagmure og skillevægge betyder at teglvægge kan udføres billigere og med omtrent de samme egenskaber.

Trusler: Dobbeltvægge vil kunne komme under pres fra lette ydervægstyper, som det ofte vil være billigere at isolere bedre.

SWOT-analyse af Bærende bagvæg

Styrker: Stærk og fleksibel konstruktion med et robust ydre og særlige æstetiske egenskaber. Gode varmeakkumulerings-egenskaber, da massen er placeret indenfor isoleringen til gunst for varmekapaciteten, og få kuldebroer. Anvendes en let regnskærm øges fundamentsbredde ikke med isoleringstykkelsen.

Svagheder: Konstruktionen opbygges i flere arbejds gange på byggepladsen og med en skalmur der kræver fundament og er derfor en forholdsvis dyr løsning. Ved skalmur kan isoleringstykkelser ikke øges uden betydelige konsekvenser mht. fundament. Murværk kan give anledning til betydelige temperatur- og fugtrelaterede bevægelser. Ved let regnskærm kan anordninger til fastgørelse og ophængning af isolering og regnskærm, der gennembyrder isoleringslaget, være kraftige kuldebroer. Problematikken forøges ved forøgelse af isoleringstykkelser.

Muligheder: Skalmur kan bæres af beslag fastgjort til betonelementet. Der kan udvikles en smal mursten, så fundament billiggøres og bedre kan isoleres. Der kan videreudvikles på lovende fleksible systemløsninger til udvendig ydervægsisolering og let regnskærm, som har et minimum af kuldebroer.

Trusler: Skærpede energikrav. De udbredte skalmurede betonelementer er relativt dyre og problematiske konstruktioner mht. kuldebro ved fundament mv.

SWOT-analyse af Etagehøje betonsandwichelementer

Styrker: Integreret præfabrikeret komponent, billigt og robust kvalitetsprodukt (udført på fabrik), systemløsning. Elementløsninger uden kuldebroer (betonribber) findes.

Svagheder: Æstetisk kan fuger mellem betonelementerne virke generende. Ribber ved element- og vinduestilslutninger er betydelige kuldebroer.

Muligheder: Øget fokus på systemløsninger, effektivisering og industrialisering af byggeprocessen og dermed billige og bedre boliger med betonelementer. Der er udviklet nye principløsninger vedr. nye typer betonelementer med bedre isolering og mindre kuldebroer (ingen ribber). Med de nye løsninger vil U-værdien typisk kunne reduceres fra 0,30 til 0,18 ved blot at forøge isoleringstykkelser fra 150 til 200 mm. Disse er et godt grundlag for udvikling af standardløsninger, samt afprøvning af samlede løsninger i praksis.

Trusler: Relativt dårligt image indenfor boligbyggeri pga. den udvendige beton med ret markante vandrette og lodrette fuger mellem elementerne. Mindre markante fuger og en opsplitning af den udvendige overflade i flere felter (som f.eks. ved anvendelse af skærmtegl) kunne være et bidrag til en løsning på problematikken

SWOT-analyse af Bygningshøje betonsandwichelementer

Styrker: Rationelt og konkurrencedygtigt til industribyggeri, fremstillingsproces særdeles velafprøvet, systemløsning.

Svagheder: Bæreribber og ribber ved bl.a. elementsamlinger er betydelige kuldebroer.

Muligheder: Nytænkning af fremstillingsproces en mulighed for at levere elementer uden kuldebroer, svarende til nye og fremtidige lavenergikrav. Bidrag til bedre indeklima og lavere driftenergikostninger i danske industrivirksomheder.

Trusler: Industrihaller med stålrammer mv. Jo tykkere isolering, jo svære er det at overføre kræfter mellem for- og bagplade og jo mere armering og dermed mere kuldebro.

SWOT-analyse af Massive ydervægge

Styrker: Massive ydervægge er en simpel, homogene, let konstruktion med en god bæreevne. Der er sikkerhed for isoleringsevnen, da den ikke afhænger af isoleringsudførelsen og der er ingen kuldebroer i vægdelen. Massive ydervægge indgår i samlede fleksible systemløsninger for hele huse.

Svagheder: Isoleringsevnen er mindre end for traditionelle konstruktioner ved samme vægtykkelse. Nuværende produkter kan kun anvendes i lavenergiklasse 1 huse, når der foretages særlige tiltag, f.eks. tilskud fra vedvarende energi. På grund af stor porøsitet kræves en udvendig overfladebehandling, som skal tillægges væggenes tykkelse. Relativ forskel i isoleringsniveau forøges ved øget isoleringsniveau.

Muligheder: Systemløsningen giver minimalistisk, lyst og stilrent byggeri, som er eftertragtet nu og formentlig i fremtiden, ved materiale- og produktudvikling har produktet umiddelbart mulighed for at leve op til fremtidens lavenergikrav.

Trusler: I forbindelse med skærpede energikrav og lavenergiklasser er det et problem at U-værdien ved den samme vægtykkelse er væsentligt lavere end for traditionelle ydervægge. U-værdien er 0,12 for en 51 cm dobbeltvæg og 0,20 for en massiv ydervæg i 51 cm porebeton.

SWOT-analyse af Betondæk med udvendig tagisolering

Styrker: Konstruktionen er i udstrakt grad baseret på præfabrikerede komponenter og gode standardiserede udførelsesmetoder. Isoleret set er den varmeteknisk effektiv med gode muligheder for anvendelse af ubrudte isoleringslag.

Svagheder: Fastgørelsesskruer, samlinger ved facader, afløbsgennemføringer, ventilationshætter og ovenlys mv. kan imidlertid føre til et betydeligt ekstra varmetab. Konstruktionen er i udførelsesprocessen sårbar for opfugtning.

Muligheder: Der er muligheder for at udvide præfabrikationen til at omfatte samlede elementer af bækunderlag, dampspærre, isolering og tagdækning til hurtig montering og tætning. Der er muligheder for mere integration mht. tilslutninger til andre bygningsdele og komponenter i og omkring den flade tagkonstruktion.

Trusler: Manglende bearbejdning af de relativt mange kuldebroer, der optræder i typiske tunge tagkonstruktioner, kan ødelægge effekten af et højt isoleringsniveau og dermed muligheden for lavenergibyggeri.

SWOT-analyse af Fundamenter

Styrker: Der findes fundamentsløsninger med lille linietaf. Problemer i relation til lavenergibyggeri er velkendte.

Svagheder: Det er vanskeligt at reducere den lodrette varmestrøm, når fundamentet gennembryder isoleringen, hvilket er en forudsætning for en begrænsning af linietafet.

Muligheder: Udvikling af en komponent, der kan reducere den lodrette varmestrøm, f.eks. baseret på letklinkerbeton med isolerede udsparringer, eller benyttelse af en isoleringsunderstopning ved byggeri med betonsandwichelementer, som i nogen grad muligt

også for tungt byggeri, da bagstøbningen typisk kun behøver at overføre sin last via ca. 1/5 del af tværsnitsarealet for en 3 etages bygning.

Trusler: Fundamenter er generelt væsentlige kuldebroer, og de bidrager betydeligt til bygningers varmetab. Dette er en trussel mod realiseringen af lavenergibyggeri.

SWOT-analyse af Terrændæk og kælderdek mod jord

Styrker: Konstruktionen er velkendt og en udpræget standardløsning. Isoleringstykkelsen kan umiddelbart øges uden store følgevirkninger, bortset fra ekstra afrømning af jord.

Svagheder: Med stigende isoleringstykkelse er det væsentligt at sikre sig at deformationen af isoleringen ikke bliver for stor, heller ikke på lang sigt. Sætninger i isoleringen fra koncentreret last og langtidssætninger kan medføre differenssætninger i vægsystemet, der potentielt kan give alvorlige følgevirkning.

Muligheder: Udvikling af optimerede konstruktioner med ubrudte isoleringslag uden skillevægsfundamenter og med en isoleringstykkelse på 350 – 450 mm, hvor isoleringslaget har tilstrækkelig stor stivhed, små deformationer og dermed giver små spændinger i betonpladen, som betyder reduceret betontykkelse og/eller reduceret armering. Hvis fundamenter til bærende skillevægge ikke kan undværes, kan det retfærdiggøre anvendelse af højstyrke isolering som f.eks. celleglas lokalt under bærende skillevægge eller blot i lille tykkelse som kuldebroafbryder.

Trusler: Sætningsproblematikken i forbindelse med tykke og ubrudte isoleringslag.

SWOT-analyse af Terrændæk beregnet for tung belastning

Styrker: Konstruktionen er velkendt og en udpræget standardløsning.

Svagheder: Varmetabet kan være svært eller dyrt at begrænse når belastningen er stor. Ydervægsfundamenter og gennembrydninger af terrændækket i form af betonfundamenter til søjler og skillevægge mv. er kraftige kuldebroer.

Muligheder: Kombinationsløsninger med løse letklinker som kapillarbrydende og isolerende lag samt ekstra isolering i form af trykfast isolering, vil være en oplagt lavenergiløsning i industribygninger med middeltung belastning. Potentiale for begrænsning af kuldebroer.

Trusler: Sætningsproblematikken i forbindelse med tykke og ubrudte isoleringslag.

SWOT-analyse af Kældervægge mod jord

Styrker: Velkendt konstruktion, der nemt isoleres udvendigt.

Svagheder: Kuldebroer ved kældervægge er et klassisk problem, som øges i kraft af skærpede isoleringskrav. Typisk udføres kældervægge så isoleringen i ydervæggen brydes ved overgangen til den udvendige isolering af kældervægge. Dette spring i isoleringsplan er en kraftig kuldebro, der dog kan afhjælpes delvist ved overlap af isoleringerne. Linietabet vil dog fortsat være ret højt, dvs. ca. 0,3 W/mK.

Muligheder: Videreudvikling af nuværende betonsandwichløsning med midterisolering til kælderydervægge, der er væsentligt bedre end den traditionelle løsning, hvor der spring i isoleringstykkelse. Isoleringstykkelsen kan forøges og kuldebroer ved elementkanter og vindues- og døråbninger kan mindskes.

Trusler: Umiddelbart ingen.

Sammenfattende kan det konkluderes at der for tunge klimaskærmskonstruktioner overordnet er forsknings- og udviklingsmuligheder mht. præfabrikerede konstruktioner og systemløsninger til ubrudte isoleringslag og uden kuldebroer i samlinger mellem bygningsdelene. Der er desuden muligheder for at nytænke betonsandwichelementer med fokus på opnåelse af både gode varmetekniske og æstetiske egenskaber, der kan være et godt alternativ og udgøre en effektivitetsgevinst i forhold til den udbredte, men tidskrævende opførelse af ”dobbelt råhus” i form af skalmur.

3.2.1.3 Koblinger (sammenhænge mellem forskningen og byggeerhvervets teknologiske udfordringer)

Siden midten af 1990’erne er der i samarbejde med byggebranchen gennemført en række større forskningsprojekter vedrørende en teknologisk udvikling af tunge klimaskærmskonstruktioner med bedre isolering og mindre kuldebroer. Projekterne har udviklet principperne for klimaskærmskonstruktioner med mere isolering og mindre kuldebroer med vægt på løsninger, der kan udføres af eksisterende materialer og komponenter. Desuden er der udviklet totaløkonomiske metoder og foretaget undersøgelser af totaløkonomien i disse nye løsninger. Der er altså udviklet principper for energirigtige og økonomisk optimale systemløsninger, og der er anvist muligheder for integration af delkomponenter til samlede lavenergiløsninger. Efterfølgende er de nye typer tunge klimaskærmskonstruktioner med succes blevet afprøvet i en række forsøgshuse.

Projektresultaterne understøtter i høj grad de udfordringer de tunge klimaskærmskonstruktioner har i forbindelse med skærpede energikrav og konkurrencen fra lette klimaskærmskonstruktioner, hvor den samme varmeisolering af ydervægge alt andet lige kan udføres både billigere og med mindre samlet vægtykkelse, hvoraf sidstnævnte har en væsentlig betydning for arealforbrug, lysindfald mv. På trods af den betydelige relevante forskning, der tidligere er blevet udført, er der dog betydelige udfordringer som behøver bearbejdning, som f.eks. krav om effektivisering i form af mere præfabrikation samt afprøvning og dokumentation af ydeevne for nye lavenergi typeløsninger i etageboliger og andre former for etagebyggeri.

3.2.1.4 Behov og muligheder (byggeerhvervets behov og muligheder for forskning, teknologiudvikling og uddannelse)

Alle typer af tunge klimaskærmskonstruktioner kan som udgangspunkt udvikles til lavenergiløsninger. Der er dog i relation til konkurrencedygtighed et behov for at billiggøre tunge klimaskærmskonstruktioner, så merudgiften ved en øget isoleringsstandard mindskes. Dette kan passende ske ved forsimpning og optimering af produktions- og udførelsesprocesserne samt ved højere grad af integrering, dvs. komponent/-systemløsninger frem for kun produktion af materialer til byggeriet.

Et afgørende aspekt er at det umiddelbart er billigere at isolere klimaskærmen bedre end at gøre andre energibesparende tiltag for at opfylde energirammen. Derfor bør man ud fra en rationel tankegang, som understøttes af de nye energibestemmelser, vælge først at isolere

klimaskærmen frem for andre tiltag. I den forbindelse er der behov for, at belyse de økonomiske og ikke-økonomiske følgevirkninger af en øget isoleringsstandard og dermed ydervægtykkelse, så der kan udvikles et detaljeret og rationelt grundlag for fastsættelse af det optimale isoleringsniveau, som har betydning for bygningens energiforbrug i mange år ud i fremtiden. Isoleringsstandarden kan naturligvis senere ændres, men det er dyrt og betydeligt billigere at vælge rigtigt fra starten af.

En mulighed er løsninger som ikke nødvendigvis bygger videre på eksisterende løsninger og byggeskik. Det vil sige nytænkning af tunge klimaskærmskonstruktioner og præfabrikation, hvor produktet har en væsentligt forbedret brugsværdi (udover lavt energiforbrug/-tab) og integrationsmuligheder, der ikke blot tilfredsstiller et øjeblikkeligt efterspørgelsesbehov, men som kan skabe efterspørgelse på kort og langt sigt både i Danmark og udlandet.

3.2.1.5 Fokusområder

Fokusområderne for de relevante forskningsinstitutioner vil være baseret på tidligere og igangværende FoU projekter. Et fokusområde for DTU Byg vil være detaljerede varmetabsberegninger og –målinger (herunder især kuldebroer), bygningssimulering og –målinger, metoder til integreret design og optimering. Fokusområder for øvrige forskningsinstitutioner vil være statiske og konstruktive forhold, byggeteknik og lufttæthed samt materiale- og konstruktionsegenskaber.

3.2.2 Lette klimaskærmskonstruktioner

3.2.2.1 Beskrivelse af delområde

Lette klimaskærmskonstruktioner omfatter primært konstruktioner, der traditionelt er bygget op som pladebeklædte træ- eller stålskeletkonstruktioner. De udføres enten som bærende konstruktioner eller udfyldningselementer, som er monteret imellem den bærende struktur.

Produkter der typisk indgår i lette klimaskærmskonstruktioner: Træ- og stålprofiler, gips- og fibergipsplader, træbaserede plader som krydsfinér plade, spånplade, MDF mm., fibercementplader, andre pladematerialer, diverse isoleringsmaterialer, damp- og vindspærre, beslag, skruer mm.

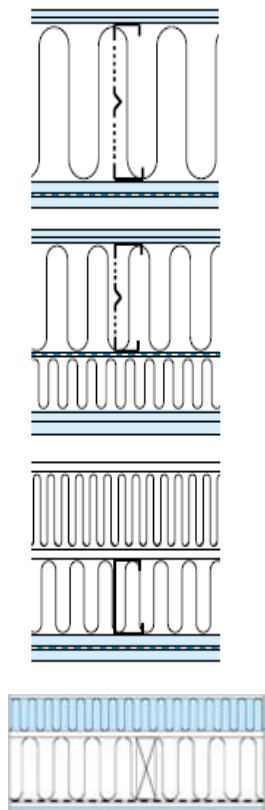
Disse produkter indgår ofte i system-, element- eller modulløsninger, hvor de indgår i samlede løsninger med forskellig færdighedsgrad i form af pladsbyggede systemer eller elementer og moduler, som samles på fabrik før montage på byggepladsen. Det skal bemærkes at såkaldte påhængte facader, hvor ydervæggen er monteret udenpå en bærende massiv bagvæg, behandles under tunge klimaskærmskonstruktioner.

Let byggeri med fabriksfremstillede elementer og moduler er over de senere år blevet populært, hvilket hænger sammen med en erkendelse af at der ligger et betydeligt potentiale for effektivisering af byggeprocessen og kvalitetsforbedringer relateret særligt til opførelsen. Industrielt fremstillede elementer anvendes især i forbindelse med enfamiliehuse, mens modulbyggeriet især anvendes og har en styrke i forbindelse med tæt-lavt boligbyggeri på større grunde.

Bygningsdele i form af hele konstruktioner med direkte brugsværdi:

Lette ydervægskonstruktioner

- Lette ydervægskonstruktioner består typisk af skeletkonstruktioner i stål, træ eller blandede materialer i form af gennemgående træstolper eller stålprofiler. Skelettets hulrum udfyldes typisk med 200 mm isolering.
- Der afdækkes udvendigt med vindtætte, vandafvisende og diffusionsåbne plader til beskyttelse og tætning af konstruktionen, herunder beskyttelse af isoleringen mod gennemblæsning.
- Indvendigt beklædes typisk med gipsplader i to lag. Som regnskærm benyttes en traditionel let regnskærm med ventileret hulrum eller der udføres facadeisolering med pudsløsning eller skalmur.
- Forskellen mellem bærende og ikke-bærende vægge er for traditionelle skeletkonstruktioner typisk at der benyttes to lag plademateriale udvendigt i stedet for et lag.
- Dampspærren placeres typisk imellem de to lag indvendige gipsplader eller tilbagetrukket i forbindelse med en indvendig lægtning. Sidstnævnte løsning sikrer gode pladsforhold til udførelse af elinstallationer og andre installationer, så de ikke behøver at gennembryde dampspærren, som er det lufttætte lag. Dette gør det nemmere at opnå en lufttæt klimaskærm.
- Stålskeletkonstruktioner uden udvendig isolering udføres ofte med kuldebroafbrydende slidsede stålprofiler, mens der ved udvendig isolering anvendes massive profiler, da kuldebroen derved er brudt. De



slidsede stålprofiler hindrer desuden termisk sværtning, som kan være et problem ved gennemgående massive profiler.

Lette tagkonstruktioner omfatter gitterspær-, hanebåndsspær-, bjælkespær konstruktioner, eller flade tagkonstruktioner - såkaldte built-up tage.

Gitterspær

- Gitterspærkonstruktioner har uudnytteligt tagrum.
- Taghældningen er på mellem 15° og 40°, og spændvidden er på mellem 4 m og 20 m uden mellemunderstøtning. Isoleringsmaterialet placeres mellem, over og eventuelt under spærfodder.
- Gitterspærkonstruktioner isoleres mellem spærfodder med en isoleringstykkelse svarende til spærfodshøjden. Det næste lag isolering udlægges direkte på det første isoleringslag og hen over spærfodderne, herved undgås kuldebroer.
- Der kan opnås bedre sikkerhed for god isoleringsvæne, hvis isoleringen stødes tæt sammen og samlinger mellem de enkelt lag forskydes i forhold til hinanden.



Hanebåndsspær

- Hanebåndsspær konstruktioner anvendes hovedsageligt til boligbyggeri, hvor man ønsker udnyttelse af tagetagen, som f.eks. i såkaldte 1½ plans huse.
- Taghældningen er på mellem 40° og 50°, og spændvidden er på mellem 7 m og 12 m uden mellemunderstøtning.
- Isoleringsmaterialet kan være placeret på skunkgulv, skunkvæg, skråvæg, hanebåndsløft eller som åbent tagrum med synlige hanebånd og isoleringsmateriale mellem spærene til kip.
- Bjælkespærkonstruktioner bruges, hvor loftfladen følger taghældningen. Isoleringsmaterialet placeres mellem spærene og ofte med krydsisolering under spærene.
- I spærhovedet anbringes isoleringen, så der er taget hensyn til den nødvendige ventilation som afhænger af type undertag og tagbeklædning.
- Ved traditionelle træspær vil det ofte være nødvendigt med en påføring på spæret for at opnå den ønskede isoleringstykkelse. I skunken kan isoleringen med fordel fortsætte i spærhovedet til fodrem, hvorved der opnås et "varmt" skunkrum, og risikoen for frostsprængte rør mindskes. Samtidig vil opbevaringsbetingelserne i skunkrummet blive bedre.



Bjælkespær

- Skråtag med bjælkespær og tagkassetter anvendes til boligbyggeri, institutionsbyggeri samt administrationsbygninger i forbindelse med industribyggeri.
- Bjælkespær er karakteriseret ved parallel tag- og loftflade uden egentligt tagrum.
- Bjælkespær udføres som fritspændende eller mellemunderstøttet konstruktion.
- Bjælkespærkonstruktioner isoleres mellem spær og er ofte suppleret med et krydsende lag isolering, mellem lægter, under spærene.
- Taghældningen kan gå ned til 1:40, og spændvidden er på mellem 4 m og 6 m uden mellemunderstøtning.
- Trædimension og ventilationshensyn afgør de enkelte lags tykkelse.
- Anvendes diffusionsåbent undertag kan isoleringen lægges tæt mod undertaget, så isoleringstykkelsen er den samme som bjælkehøjden. Ved diffusionstæt undertag vælges



isoleringstykkelsen som trædimension minus ca. 50 mm til ventilationsspalte. Den resterende del af isoleringen placeres på den indvendige side mellem krydsforskallingen.

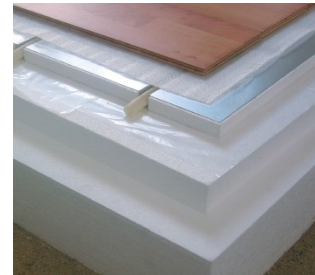
Flade tage (built-up)

- Flade tage er ofte tagpaptage og anvendes hovedsaglig til institutionsbyggeri og administrationsbygninger i forbindelse med erhvervsbyggeri.
- Flade tage med bjælkespær er karakteriseret ved et tag med ringe fald og uden egentlig tagrum.
- Flade tage isoleres mellem spærrene og er ofte suppleret med et krydsende lag isolering under spærrene.
- Flade tage kan udføres som såkaldt koldt tag, hvor den bærende konstruktion ligger på den udvendige (kolde) side af isoleringen (ofte en ventileret konstruktion), eller som varmt tag, hvor isoleringen danner underlag for tagbelægningen (uventileret med udvendig isolering). Disse konstruktioner kan udføres som fritspændende eller mellemunderstøttede konstruktioner.
- Taghældningen kan gå ned til 1:40, og spændvidden er på mellem 4 m og 6 m uden mellemunderstøtning.
- Når flade tage er uventileret og har en diffusionstæt tagbelægning og/eller undertag bør den indeholde en hygrodioder dampspærre eller lignende med drænvirkning samt en diffusionsåben loftbeklædning, så der ikke kan ophobes fugt i konstruktionen.



Let terrændæk

- Et let terrændæk indeholder ikke en trykfordelende og bærende betonplade, men kan afhængig af belastning og type af gulvbelægning indeholde en tynd trykfordelende spåndplade.
- Det kan være gulve lagt på bærende plader af hård trykfast isolering og uden et kapillarbrydende lag, da isoleringspladerne i sig selv forhindrer fugtopsugning.
- Da konstruktionen ikke indeholder pladsstøbt beton er det muligt at undgå konstruktiv byggefugt.
- Konstruktionen er ikke velegnet til klinkegulve i f.eks. badeværelser. Der kan udføres gulvvarme og i så fald er der tale om såkaldt "let gulvvarme", hvor varmen fra rørene fordeles ud under gulvet af varmfordelingsplader i normalt aluminium.
- Let gulvvarme anvendes overvejende i etagebyggeri. Varmeafgivelsen fra lette terrændæk konstruktioner med gulvvarme reagerer på grund af en lille varmekapacitet relativt hurtigt på ændringer i varmetilførslen fra f.eks. solindfald gennem større vinduespartier.



Kælderdæk af bærende træribber

- Dækelementer opbygget af bærende træribber, hvorimellem der er passende isoleret, og som f.eks. anvendes som krybekælderdæk.

Massive træelementer

- Massive træelementer produceres ved sammensætning af brædder af relativt ringe kvaliteter og mindre dimensioner end de, der sædvanligvis anvendes til konstruktive formål. Til gengæld for det ringere råmateriale anvendes større mængder træ.



- Massive træelementer kan opdeles i tre grupper efter deres konstruktive opbygning: Kantstillede brædder, krydsede brædder og kasseelementer, og de udgør et samlet råhus-byggesystem, da elementerne kan anvendes som bærende dele i tag, vægge og dæk (herunder terrændæk, som alternativ til betonplade).
- Massive træelementer er typisk 70-120 mm tykke og 300 - 400 mm bredde.
- Princippet i selve elementfabrikationen er enkel, idet træ af bræddedimension lægges bredside mod bredside og sømmes, limes, dyvles eller spændes sammen til elementer af en størrelse, der kan håndteres af to mand samt eventuelt en mindre kran.
- Massive træelementer produceret som skitseret, muliggøre et konkurrencedygtigt og energieffektivt træbaseret byggeri ved anvendelse af billige råmaterialer, enkel produktionsform og industrifremstillede elementtyper.
- Massive træelementer er kendetegnet ved at overfladerne kan anvendes direkte mod rummet. De har evne til at optage og afgive moderate fugtmængder, og virker således som fugtbuffer, der kan reducere udsving i indeluftens fugtighed.
- Betegnelsen massive træelementer dækker over en bredere vifte af produkter med forskellig grad af mere raffineret forarbejdning og mere kostbar produktionsform. I Europa findes således elementer produceret ved f.eks. krydslimning af brædder, og denne mere kostbare produktion giver elementer, der kan løse konstruktivt mere krævende opgaver end f.eks. de simple sidesømmede elementer.

3.2.2.2 Screening (udviklings- og forskningsmuligheder)

SWOT-analyse af lette ydervægskonstruktioner

Styrker: Det er relativt billigt at opføre bygninger med lette ydervægskonstruktioner frem for tunge konstruktioner, men der kan være større udgifter til vedligeholdelse. Træskelet er af økonomiske årsager mere udbredt end stålskelet. Lette ydervægge fremstilles i stor udstrækning ved industriel præfabrikation (som elementer eller indgår i moduler) under kontrollerede forhold inden døre, som øger kvaliteten og mindsker risikoen for byggefugt. Lette ydervægge er kendetegnet ved forholdsvis lille samlet vægtykkelse i forhold til isoleringstykkelsen.

Svagheder: Den nuværende typiske brug af gennemgående træstolper eller slidsede stålprofiler resulterer i nogen kuldebroer, men effekten accelererer i højisolerede konstruktioner. I relation til klimaskærmens lufttæthed er det et stort problem, at der ikke findes lufttætte elinstallationsrør, eldåser og stikkontakter på det danske marked, samt at der umiddelbart mangler gode løsninger på at sikre tætheden af element-samlinger ved montage. Dette indebærer, at for at opfylde krav til lufttæthed, er det nødvendigt at placere dampspærren beskyttet bag en indvendig lægting, hvilket er besværligt at udføre. Lette ydervægge har en lille effektiv varmekapacitet, og har derfor ikke i samme grad som tunge konstruktioner evne til at udjævne indetemperaturen og forhindrer overtemperaturer. Der er også en effekt på energiforbruget, men den er lille.

Muligheder: Det vurderes at de forskellige lette ydervægstyper uden større problemer kan udvikles til lavenergiløsninger. Bæreevnen af skelettet ved brug af traditionelle gennemgående stolper vil oftest være betydeligt større end nødvendigt, da dimensionen bestemmes af isoleringstykkelsen og andre praktiske forhold, og de gennemgående stolper udgør en kuldebro og det samme gør fundamentet, der kun kan isoleres sparsomt. Derfor er der oplagte muligheder for at forbedre de varmetekniske egenskaber ved at ændre på opbygningen af konstruktionen. Dette kunne være i form af et delt skelet med smallere stolper

og indvendig lægtning, dobbelt skelet, indvendig bærende skelet, udvendig bærende skelet mv. En ambitiøs målsætning kunne være optimerede konstruktioner med 500 mm isolering ($U \sim 0,08$), da beregninger indikerer at det umiddelbart er billigere at spare energi ved isolering af ydervægge frem for andre tiltag.

Trusler: Murstenstraditionen er en barriere for anvendelsen af lette højisolerede ydervægskonstruktioner. En anden barriere er konstruktionstykkelsen, der alt andet lige forøger bruttoetagearealet og stiller visse ekstra krav til fundament, vinduestilslutninger og vinduesfastgørelser mv. Det er desuden en udfordring at der er mange leverandører og dermed mange kombinationsmuligheder, hvilket øger risikoen for fejl og giver uklarhed omkring ansvar for "bygbarhed".

SWOT-analyse af lette tagkonstruktioner

Gitterspær:

Styrker: Traditionel løsning ved enfamiliehuse uden kælder, da det uopvarmede loftrum kan anvendes til opbevaring. Gitterspær kan nemt og billigt udføres integreret med udveksling på spærfod til føring af ventilationskanaler i underside af lofstrukturen, dvs. med minimalt varmetab og uden at ventilationskanaler optager plads i loftrummet. Kan nemt udføres med større isoleringstykkelse samt dobbelt forskalling af hensyn til udførelse af elinstallationer og lufttæthed.

Svagheder: Procesrækkefølgen ved opbygningen af loft- og tagkonstruktionen, idet taget ofte ikke er tæt overfor regn før dampspærre og isolering etableres, hvorved der vil kunne samle sig vand, som oftest vil blive drænet ud ved at skære huller i plastfolien. Isoleringstykkelsen afskæres betydeligt ved tagfod, hvilket giver kuldebro. Loftlem er typisk en betydelig kuldebro.

Muligheder: Det er relativt nemt at øge isoleringstykkelsen. Kuldebroen ved tagfod kan minimeres ved en god gennemføring af isoleringstykkelsen og sikring mod gennemblæsning, hvilket kræver at taget hæves. Fordele ved at hæve taget ligger også i mere og optimalt solindfald. Isoleringsmaterialer med bedre isoleringsevne vil være en fordel.

Trusler: Umiddelbart ingen. Det er erfaringen at de ændrede spær- og tagfodsløsninger mm, nemt kan realiseres og for relativt lave ekstraomkostninger.

Hanebåndsspær :

Styrker: Det "forsinkede loft" mindsker varmetransmissionsarealet. Udnyttelse af tagetagen samtidig med mulighed for opbevaring i uopvarmet loftrum.

Svagheder: Isolering af skunk i normal udførelse øger varmetransmissionsarealet. Tykke bjælkelag eller påføring er nødvendig for at etablere en god isolering af skråvægge.

Muligheder: Fortsætte isoleringen i spærhovedet til fodrem, hvorved der opnås et "varmt" skunkrum. Lille skunkhøjde og dermed god pladsudnyttelse. "Fjernelse" af skunk gulv, så isoleringsplan i skunkvæg kan fortsætte i stueplan.

Trusler: Umiddelbart ingen.

Bjælkespær:

Styrker: Simpel og fleksibel løsning.

Svagheder: Isoleringstykkelsen er begrænset af spærhøjde og ventilationshensyn. Der kan dog suppleres med isolering under spærene.

Muligheder: Der er gode muligheder for en effektiv isolering og lufttætning ved anvendelse af indvendig forskalling. En større konstruktionshøjde (og dermed plads til mere isolering) uden forøgede materiale- og følgeudgifter er en mulighed.

Trusler: Umiddelbart ingen.

Flade tage (built-up):

Styrker: Billig konstruktion (kassetter). Præfabrikeret, ”styr på” isoleringsudførelse og lufttætning.

Svagheder: Sårbar konstruktion til det fugtige danske klima. Sikring af at vandet kan løbe af, kræver omhu under projektering og udførelse. Sne kan samle sig.

Muligheder: Højisolering uden større problemer, men behov og muligheder for materiale- og kuldebrominering.

Trusler: Umiddelbart ingen betydelige, men dog manglende omhu under projektering og udførelse (jf. ovenstående)

SWOT-analyse af let terrændæk

Styrker: Isolering uden kuldebroer. Lille konstruktionstykkelse. Hurtig udførelse. Mindsker alt andet lige risikoen for fugtskader i gulvkonstruktionen, da der ikke er indbygget konstruktiv byggefugt i konstruktionen. Stiv og stabil konstruktion trods stor isoleringstykkelse. Velegnet til etageboliger med gulvvarme.

Svagheder: Let terrændæk med let gulvvarme er typisk en dyrere løsning end traditionel tung gulvvarme. Kan ikke dække behov i alle rum, f.eks. badeværelser med klinkegulv. Umiddelbart en mindre radonsikker (tæt) løsning end et traditionelt tungt terrændæk med betonplade, hvilket især gælder i forhold til løsning med betonplade, der går ind over og hviler af på den inderste del af fundamentet.

Muligheder: Lovende konstruktionstype til højisolerede terrændæk og fundamenter med lille linietab. Anvendelse af løsningen i kombination med tunge ydervægge og en beskeden tykkelse kuldebroafbrydende høj-styrke celleglas mellem den indvendig mur- og fundamentsvange, vil være en særdeles attraktiv lavenergiløsning.

Trusler: Der er behov for at dokumentere konstruktionens praktiske ydeevne mht. tæthed overfor radon mm., stabilitet og anvendelse af skillevægge mm.

SWOT-analyse af massive træelementer

Styrker: Ny og massiv byggeteknik. Mindre funderingsomfang, da huse af træelementer vejer væsentligt mindre end tilsvarende huse i beton. Desuden nemmere og hurtigere transport og montage pga. lavere vægt. Dampspærre kan placeres beskyttet på udvendig side af træelementerne.

Svagheder: Mindre egnet til bygninger/rum med stor fugtbelastning, da den store fugtbelastning kan medføre nedbrydning af træet.

Muligheder: Gode muligheder for udvikling af højsolerede ydervægge med massive indvendigt bærende træelementer uden kuldebroer ved anvendelse af isolering fastgjort direkte til bagvæg frem for placeret/fastholdt i udvendig skelet konstruktionen fastgjort til bagvæg.

Trusler: Brandmodstandsevne, men kravene kan opfyldes med passende dimensioner, imprægnering og beklædninger.

3.2.2.3 Koblinger (sammenhænge mellem forskningen og byggeerhvervets teknologiske udfordringer)

Der er gennemført en række større forskningsprojekter med det formål at styrke en teknologisk udvikling af klimaskærmskonstruktioner med bedre isolering og mindre kuldebroer, herunder lette klimaskærmskonstruktioner. Dette arbejde er udført som grundlag for skærper af energikravene i bygningsreglementet og for at stimulere til lavenergiløsninger.

Projekterne har udviklet principperne for klimaskærmskonstruktioner med mere isolering og mindre kuldebroer med vægt på løsninger, der kan udføres af eksisterende materialer og komponenter. Disse projekter udgør et godt grundlag for en udvikling af lette integrerede klimaskærmskonstruktioner til lavenergibygninger.

Der er efterfølgende vist eksempler på f.eks. ydervægselementer med alternativt udformede skeletkonstruktioner i blandede materialer og stor isoleringstykkelse, der viser at en U-værdi på ca. 0,10, kan realiseres med minimale merudgifter pga. materialebesparelser.

3.2.2.4 Behov og muligheder (byggeerhvervets behov og muligheder for forskning, teknologiudvikling og uddannelse)

Lette klimaskærmskonstruktioner er i vækst, hvilket yderligere stimuleres af de nye skærpede energibestemmelser. Lette klimaskærmskonstruktioner har mange gode egenskaber i form af f.eks. prisbillighed, god isoleringsevne og lille konstruktionstykkelse, men er ikke traditionel byggeskik i Danmark. Desuden betyder det fugtige danske klima, at der er behov for at tage særlige hensyn til de betydelige mængder organisk materiale, der indgår i lette klimaskærmskonstruktioner, ved stor grad af præfabrikation og hurtige byggeforløb, hvilket branchen også er relativt gode til.

Lette klimaskærmskonstruktioner er velisolerede konstruktioner, men der er et stort behov for udvikling af energimæssigt bedre, mere robuste og totaløkonomisk billigere lavenergiløsninger.

Der er behov og muligheder for at udvikle løsninger med fokus på billiggørelse både mht. materialer og arbejds løn. Der er behov for løsninger med stor fleksibilitet mht. valg af

regnskærm og en indsats vedr. fugtstabile løsninger, lufttætte løsninger og løsninger der er enkle at sammenbygge.

Der er et stort potentiale i at satse på mere langsigtet forskning og udvikling vedrørende bedre materialer og innovative løsninger på konstruktionsopbygninger med ubrudte isoleringslag.

3.2.2.5 Fokusområder

Se under tunge klimaskærmskonstruktioner.

3.2.3 Energivinduer

Energivinduer omfatter almindelige vinduer og tagvinduer/ovenlys, men omfatter ikke glasfacader og –tage, som behandles separat. Døre nævnes ikke specifikt, men mange af de samme forhold, der gør sig gældende for vinduer, gælder også for døre.

Typiske vinduer har i dag et meget stort varmetab i forhold til de ikke-transparente, isolerede klimaskærmskonstruktioner. Vinduer giver dog også anledning til et varmetilskud til bygningen, hvilket ikke er tilfældet for den ”mørke” klimaskærm. I boliger er vinduers isoleringsevne (U-værdi) og solenergitransmittans (g-værdi) vigtige parametre, der påvirker energiforbruget betydeligt, mens god tilførsel af dagslys og effektiv solafskærmning er mindst ligeså vigtige funktioner i kontorbyggeri.

3.2.3.1 Beskrivelse af delområde

Materialer og delelementer, der indgår i energivinduer:

Ramme/karmkonstruktioner (træ, plast, aluminium, træ/aluminium mv.).

Glas (klart floatglas, energiglas, solafskærmende glas, hærdet glas, glas med lavt jernindhold osv.)

Energiruder

Specielle ruder (aerogel ruder, vakuumruder, ”smarte” ruder)

Gasfyldninger (atmosfærisk luft, argon, krypton eller xenon)

Afstandsprofiler (aluminium, stål, rustfrit stål eller plastkomposit)

Solafskærmningselementer

Glaslister, tætningslister, fugebånd, diverse hængsler, beslag mv.

Energiruder er oppe over 90 % af det samlede rudesalg i Danmark, så derfor er almindelige termoruder ikke nævnt ovenfor. Dermed har udfasningen af termoruder til energiruder, der blev iværksat efter frivillig aftale mellem glasindustrien og energistyrelsen i 2004, været en stor succes.

Bygningsdele i form af hele konstruktioner, der indgår i energivinduer, er:

Hele vinduer

Ramme/karmkonstruktioner

Energiruder

Specialruder

Tagvinduer og ovenlys

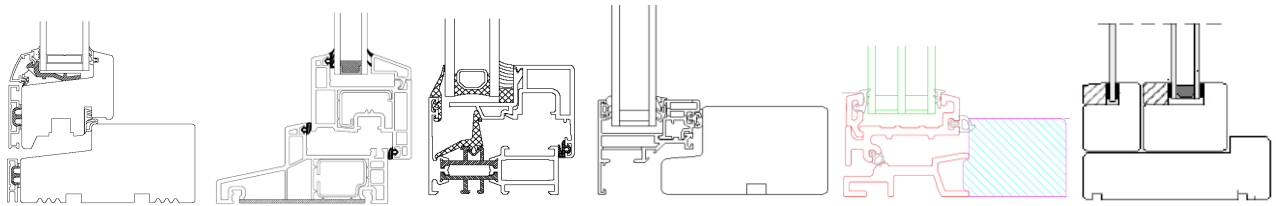
Solafskærmning

Bygningsdelene beskrives i det følgende:

Hele vinduer

Der findes en stor produktion af vinduer i Danmark i form af ramme/karmkonstruktioner og ruder. Selve produktionen af råglasset mm til fremstilling af ruder foregår primært i udlandet.

Vinduer kan enten være faste eller oplukkelige. Der skelnes mellem forskellige vinduestyper baseret på de primære materialer, der indgår i ramme/karmkonstruktionen, og som typisk er træ, plast, aluminium, træ/aluminium eller kompositmaterialer. En særlig vinduestype er vinduer med koblede eller gående rammer. Nedenfor er der vist eksempler på typiske danske vinduer.



De typiske vinduer på det danske marked (med 2-lags energirude) har en isoleringsværdi, der er ca. en faktor 7 til 10 dårligere end den isolerede klimaskærm. Derimod giver vinduer i modsætning til ikke-transparente isolerede bygningsdele anledning til et solenergitilskud, der i vinterperioden næsten helt kan udnyttes til rumopvarmning i boliger, mens det i sommerperioden for det meste af tiden er uønsket. I bygninger, der ikke er opvarmningsdominerede (f.eks. kontorbyggeri), er solenergien gennem vinduer ofte uønsket en stor del af året, da de interne varmekilder er tilstrækkelige til at opretholde den ønskede temperatur.

De energimæssige egenskaber for vinduer afhænger både af varmetabet ud gennem vinduet, udtrykt ved U-værdien, og solenergitilskuddet ind gennem vinduet, udtrykt ved g-værdien. Forskellen mellem de to bidrag er energitilskuddet eller energibalancen. I forbindelse med energimærkningsordningen for ruder er der udviklet en formel til beregning af vinduer og ruders energitilskud baseret på energitilskuddet til et referencehus, der svarer til et typisk dansk parcelhus. Formlen for energitilskuddet er:

$$E_{\text{reference}} = 196,4 \cdot g - 90,36 \cdot U \quad (\text{kWh/m}^2 \text{ pr. år})$$

Hvor g er solenergitransmittansen for hele vinduet ($g_g \times \text{glasandel}$) og U er U-værdien for hele vinduet. Energитilskuddet for typiske ét-rammede vinduer på det danske marked (med 2-lags energirude) ligger på mellem minus 40 og 50 kWh/m² pr. år, svarende til et resulterende varmetab. Til sammenligning har en typisk ydervægskonstruktion med en U-værdi på 0,20 W/m²K et energitilskud på ca. minus 18 kWh/m²/år (beregnet med samme formel), svarende til et noget mindre resulterende varmetab. Derfor er en ydervægskonstruktion energimæssigt en bedre løsning end et energivindue, men fordelene ved vinduer i form af udsyn og dagslys mv. er imidlertid indiskutable. Desuden er der konkrete krav til dagslysniveauet.

Ramme/karmkonstruktion

Rudedelen har tidligere været det energimæssige svage led i vinduet, så der har historisk set været lille fokus på de energimæssige egenskaber af ramme/karmkonstruktioner. Udbredelsen af energiruder har ændret på dette, så ramme/karmkonstruktionen nu er den del af vinduet, hvor varmetabet er størst. For eksempel findes der mange udbredt anvendte ramme/karmkonstruktioner med et varmetab, der er ca. en faktor 2,5 større end varmetabet fra en energirude. Ramme/karmkonstruktionens bidrag til det samlede varmetab er betydeligt, da glasandelen typisk er 60-80 % og ramme/karmandelen derfor 20-40 %.

Energiruder

Almindelige energiruder er defineret som forseglede 2-lags ruder med et energiglas indvendigt og en ”tung” gasfyldning af f.eks. argon, der nedsætter ledning og konvektion. Ruder til nybyggeri kan også være udformet som koblede rammer med et lag energiglas eller en løsning med et lag alm. glas eller energiglas plus en energirude (som vist ovenfor). Energiruder indeholder et afstandsprofil i rudekanten, der holder afstand mellem glaslagene

og sørger for at ruden kan forsegles. Der benyttes en passende glasafstand, der er optimeret mht. isoleringsevnen. Gasfyldninger i energiruder er typisk ædelgassen argon (ca. 90 % argon og 10 % atmosfærisk luft). Energiruder kan også udføres med 3 lag glas, hvilket forøger rudens vægt med 50 %, og således stiller større krav til ramme/karmkonstruktionens styrke. En 3-lags rude er dog er støjmæssigt bedre løsning end en 2-lags rude. 2-lags energiruder giver anledning til et energitilskud på ca. 15 kWh/m² pr. år. Det positive energitilskud betyder at en typisk energirude altså tilfører mere energi end den taber og isoleret set sparer den derfor på varmeregningen.

Specielle ruder

Aerogelruder er 2-lags forseglede ruder, hvor hulrummet mellem glassene er udfyldt med et højisolerende transparent materiale kaldet silica aerogel og evakueret til et tryk på 10⁻³ atm, hvorved varmeledningsevnen for aerogelen når ned under 0,01 W/mK. Materialet i sig selv bremser for varmetrålingen, hvorved U-værdien er ligefrem proportional med tykkelsen af aerogelen. Desuden har aerogelen en høj solenergitransmittans, hvilket betyder, at der med 20 mm glasafstand kan opnås en center U-værdi på ca. 0,5 W/m²K samtidig med en solenergitransmittans på ca. 0,7, hvilket er alle andre rudeløsninger overlegent. Materialets optiske egenskaber er ikke så gode som almindelig ruder, idet udsynet er let tåget eller sløret.

Vakuumbuder er forseglede ruder med lavemissionsbelægninger, hvor trykket i hulrummet er lavere end 10⁻⁷ atm, hvorved varmeledning og konvektion ophører. Teoretisk set er det muligt at opnå en center U-værdi omkring 0,5 W/m²K ved anvendelse af kun to lag glas, hvorved vægtproblemet med 3-lags energiruder er løst. Varmeovergangen bremses ved anvendelse af to lavemissionsbelægninger. For at ruden ikke skal klappe sammen, er der anbragt en række jævnt fordelte små afstandsklodser mellem de to glaslag.

Smarte ruder (Smart Windows) er ruder med specielle optiske egenskaber, der kan reguleres eller styres efter de aktuelle behov. Derved kan sollys- og solenergitransmittansen nemt varieres uden brug af solafskærmning, hvilket giver muligheder for forbedringer i indeklimaet og lavere energiforbruget til belysning, opvarmning og køling. Et eksempel på smarte ruder, som allerede i dag findes på markedet, er elektrokrome ruder, hvor de optiske egenskaber af en belægning på den ene glas i en tolags rude kan varieres efter behov, når den udsættes for en lille elektrisk spænding. Der findes også andre typer kromogene, smarte ruder, der reagerer på lys, gas og temperatur. Et andet eksempel på smarte ruder er flydende krystal ruder (eller på engelsk: Liquid crystal (LC) glazings). Prototyper på anden generations flydende krystal ruder er for nyligt udviklet i et EU-projekt. Der kan skiftes mellem 3 forskellige indstillinger svarende til transparent, reflektiv eller translucent, styret ved hjælp af en elektrisk spænding. Der findes første generations produkter af flydende krystal ruder på markedet i dag, som kan skifte fra translucent til transparent.

Tagvinduer og ovenlys

Ovenlys kan være plane, kuppel- eller pyramideformet, hvælvet eller være udformet som såkaldte rytterlys, og kan være placeret i plane tage eller tage med hældning. Den samlede U-værdi for ovenlys skal i dag overholde et mindstekrav til U-værdien, der indtil 2008 er på maksimalt 2,3 W/m²K, og efter 2008 er 2,0. Det samme gælder tagvinduer. Tagvinduer og særligt ovenlys er blevet forbedret betydeligt de senere år, således at alle typer ovenlys på markedet i dag kan fås med U-værdier under 1,8 W/m²K. For ovenlys med energirude kræves ca. 50 mm indbygget kuldebroisolering i ramme/karmkonstruktionen. Ovenlys konstrueres ofte så transmissionsarealet er betragteligt større end lysmålet (hullet i taget), da inddækningshøjden (højde over tagdækning) typisk er 300 mm. Rudedelen i ovenlys er ofte

placeret betydeligt forskudt i forhold til isoleringslaget i tagkonstruktionen. Derved er linietabet i samlingen mellem tag og ovenlysvindue relativt stort.

Solafskærmning

Solafskærmning skal ses i sammenhæng med vinduer. Solafskærmning er skodder, persiener, rullegardiner mv. Formålet er at udnytte solafskærmningen om dagen i sommerperioden til at holde varmen ude og om natten at tillade natkøling med udeluft gennem eksempelvis en nedrullet persienne. Om vinteren bør solafskærmning som udgangspunkt være inaktiv i dagtimerne (afhænger af den interne varmelast mm.), men kan om natten hjælpe med til at begrænse varmetabet, da den stillestående luft mellem solafskærmningen og ruden virker som ekstra isolering. Udvendig solafskærmning er den mest effektive placering, hvilket gælder både mht. g-værdi og reduktion af U-værdi. Udvendig solafskærmning kan tilbageholde 85-90 % af solindfaldet, mens U-værdien typisk forbedres med ca. 10 % i nedrullet position.

3.2.3.2 Screening (udviklings- og forskningsmuligheder)

Hele vinduer

Typiske danske vinduer har som omtalt et energitilskud på minus 40-50 kWh/m² pr. år. Der findes enkelte danske vinduer, der har et energitilskud på minus 25. Typiske "Passive haus" vinduer har energitilskud på minus 10. De bedste udenlandske vinduer ligger på plus 10. Der er således store udviklingsmuligheder. Det er muligt med forholdsvis enkle tiltag at videreudvikle danske vinduer til nulenergivinduer i form af smallere ramme/karmprofiler samt brug af en traditionel 2-lags energirude med isolerende rudekantprofil og anvendelse af jernfattigt glas.

De energimæssige egenskaber af vinduer afhænger af materialer og konstruktion samt arealfordeling mellem ramme/karm og rude, som afhænger af vinduesstørrelse. Samtidig afhænger de energimæssige egenskaber af vinduesorientering og skyggeforhold. Den optimale vinduesløsning for en bygning vil derfor som oftest være en kombination af højisolerende vinduer og mindre isolerende vinduer med stor glasandel og solenergitransmittans.

Ramme-karmkonstruktioner

Med udbredelsen af energiruder, er ramme/karmkonstruktionen nu den del af vinduet, hvor varmetabet er størst. Ramme/karmkonstruktionen udgør en stor del af det totale vinduesareal, og har et varmetab, der er større end ruden. For at opnå en samlet lav U-værdi, har der i længere tid været påpeget et behov for at reducere varmetabet fra ramme/karmkonstruktionen.

Isoleringsevnen kan forbedres ved at isolere i eventuelle tilstedeværende hulrum, udskifte eller tilføje massivt materiale med isoleringsmateriale, opdele store hulrum til mindre hulrum eller erstatte metal-afstivningsprofiler med profiler i andre materialer med lavere varmeledningsevne. En mulighed er også smallere ramme/karmkonstruktioner, der alt andet lige giver både et forøget solenergitilskud samt mindre varmetab.

Beregninger viser at der kan opnås store energibesparelser med højisolerende vinduer med 3-lags energiruder, men der kan også opnås en pæn reduktion ved brug af vinduer med smallere profiler og 2-lags energirude. Da disse vinduer må formodes at være billigere end de højisolerende og desuden har fordele mht. dagslys og æstetik vil det være relevant at

iværksætte en udvikling af flere vinduesprodukter med smalle profiler. I første omgang eventuelt kun med 2-lags rude, men senere kan de forbedres med 3-lagsrude.

Energiruder

Screening af forsknings- og udviklingsmuligheder for energiruder er opdelt på de delelementer, der påvirker rudens energimæssige egenskaber:

Gasfyldning:

Påvirker varmetabet ved ledning og konvektion. Gasfyldningen er i energiruder typisk ædelgassen argon. Gasserne krypton og xenon kan nedbringe varmetabet yderligere, men de er dyre og rent energiøkonomisk kan det kun i særlige tilfælde forsvares at bruge dem. Det skal dog bemærkes at den optimale glasafstand er væsentligt mindre ved brug af f.eks. krypton, hvor den er ca. 10 mm, mens den er 15-16 mm ved brug af argon. Derved bliver ruden tyndere, hvilket kan være en betydelig fordel. Ovennævnte glasafstande gælder ved standardbetingelser (20°C inde og 0°C ude), men disse kan være betydeligt anderledes ved andre temperaturforskelle, hvilket ikke er blevet dyrket i detaljer for ruder med mere end 2 lag glas.

Lavemissionsbelægning:

Nedsætter varmetabet ved varmestråling. Bløde lavemissionsbelægninger til forseglede ruder fås med emissivitet på 0,03-0,04, som er meget tæt på 0. Udviklingspotentialet er altså næsten udtømt, hvilket betyder at en U-værdi på 1,0 er den laveste værdi, der kan opnås for gasfyldte 2-lags ruder.

Jernfattigt glas:

Absorptionen ved passage gennem et almindeligt 4 mm floatglas er ca. 10 %, hvoraf en lille del efterfølgende transmitteres ind i bygningen via indirekte stråling, så der netto tabes 8 %. Jernfattigt (jernfrit) glas kan næsten fjerne absorptionen af solenergien i glasset, idet den reduceres til ca. 2 %. Dette øger g-værdien betragteligt, men også lystransmittansen øges og der opnås en mindre farvning af det transmitterede lys, som er en effekt, der får større betydning jo flere glaslag, der anvendes. Problemet med produktet er at det er meget dyrt på nuværende tidspunkt, men det kan en stimulering af efterspørgelsen ændre på.

Antirefleksbelægning:

Reflektansen for ubelagte glasoverflader kan reduceres væsentligt ved at anvende en antirefleksbehandling. Antirefleksbehandlet glas har en solenergitransmittans, der ligger 5 % højere end et tilsvarende ubehandlet glas, hvilket resulterer i en forøgelse af glassets g-værdi. Gevindsten ved refleksbehandling er på niveau med benyttelse af jernfattigt glas. Både processen til fremstilling af jernfattigt glas og antirefleksbehandlet glas kan gøres bedre og tilnærmes jernfrie og refleksfrie glas løsninger, men det er tvivlsomt om det er rentabelt. Mulighederne skal derfor primært ses som løsninger, der uproblematisk (bortset fra prisen) kan benyttes i vinduer til lavenergibygninger.

Afstandsprofiler:

Anvendelse af afstandsprofiler i bedre isolerende materialer end de normalt anvendte aluminiums- eller stålprofiler, såkaldte ”varme kanter”, er øget betydeligt over de senere år. ”Varme kanter” giver særligt anledning til energibesparelser i trævinduer med relativt godt isolerende ramme/karmkonstruktioner. Bedre isolerende afstandsprofiler / rudekanter kommer således først rigtigt til sin ret, når de indgår i vinduer med velisolerede ramme/karmkonstruktioner.

Glaslag:

Antallet af glaslag har indflydelse på U-, τ - og g-værdi. Jo flere lag glas med eller uden lavemissionsbelægninger, der er i ruden, jo mindre varmetab og lys- og solindfald. Det vil være oplagt at udvikle en 3-lags energirude med optimerede energimæssige egenskaber, herunder hensyntagen til konstruktive og monteringsmæssige problemer, som følge af en 50 % forøgelse af vægten. Det skal bemærkes at 3-lags ruder har bedre lydisolerende egenskaber end 2-lags ruder. Muligheden for anvendelse af yderligere et ekstra fjerde glaslag er begrænset, da der umiddelbart af holdbarhedsmæssige årsager ikke kan anvendes mere end to lavemissionsbelægninger i ruden. Dette skyldes at en lavemissionsbelægning absorberer en del af solenergien, hvorved glaslaget varme op. I en 3-lags rude er de to belægninger derfor placeret på det yderste hhv. det inderste lag glas, hvor den absorberede varme nemt afgives. Men i en 4-lags rude med en tredje belægning kan dette ikke lade sig gøre og der vil derfor være risiko for termisk brud i ruden, eller der må anvendes hærdet glas, hvilket vil betyde en fordyrelse af vinduet. En alternativ 3-lags løsning er en 2+1 eller 1+2 løsning, hvor der til energiruden tilføjes et ekstra glaslag ud- eller indvendigt. En mulighed var også en 2+2 løsning.

Udvendig kondens på højisolerende ruder er et problem, der er betydeligt større for 3-lags energiruder frem for 2-lags energiruder. En mulig løsning er en hydrofil belægning på det yderste lag glas, som får kondensvand til at flyde ud på ruden, så forvrængningen af lyset bliver mindre, hvorved det vil være muligt at se ud. En anden løsning er brug af solafskærmning/skodder om natten til at holde den udvendige overfladetemperatur over dugpunktet.

Specielle ruder

Aerogel ruder og vakuumruder er særlige teknologier, der har mere langsigtede forskningsmæssige potentialer, og omtales ikke yderligere, da der for nuværende er behov for at kigge på de relativt store energisparepotentialer, der foreligger ved videreudvikling og nytænkning af de eksisterende teknologier. Det samme gælder smarte ruder, der er en lovende teknologi, som for nuværende stort set kun benyttes i soltag i dyre biler, men som formentlig i fremtiden vil finde større udbredelse i byggeriet.

Solafskærmning

Der er behov for udvikling af dynamiske solafskærmningsløsninger i kombination med udluftning, som kan bidrage til bedre udnyttelse af dagslys og solvarme uden gener fra direkte solstråling. Der er behov for at udvikle en høj grad af automatisk, men brugervenlig styring (herunder mht. støj) for at udnytte mulighederne optimalt.

Tagvinduer og ovenlys

Ovenlysvinduer er generelt et varmeteknisk svagt element i bygninger, men der er gode muligheder for at forbedre de varmetekniske egenskaber. Mulighederne ligger primært i en minimering af transmissionsareal og kuldebroer set i forhold til fugt-, varmetekniske og arkitektoniske krav mv. Desuden er der muligheder i udvikling af generelt bedre løsninger på integration af ovenlys i tagkonstruktioner.

3.2.3.3 Koblinger (sammenhænge mellem forskningen og byggeerhvervets teknologiske udfordringer)

Energistyrelsen har i regi af Projekt Vindue (1998-2004) økonomisk støttet projekter vedr. etablering af energimærkningsordninger for ruder og vinduer samt udarbejdelsen af et

omfattende kompendiemateriale om ruder og vinduers energimæssige egenskaber og muligheder for forbedringer. Dette udgør samlet set et godt grundlag for videre forskning og udvikling af energimæssigt bedre danske vinduer.

I Tyskland er der gennem en årrække udviklet ramme/karmkonstruktioner med væsentligt bedre varmeisolerende egenskaber end de danske løsninger, idet der bl.a. er anvendt deciderede isoleringsmaterialer i konstruktionen. En betydelig svaghed ved de tyske er dog at profilerne er relativt brede, typisk ca. 130-140 mm, hvilket begrænser tilførslen af solvarme og lys betydeligt. En åbenlys dansk mulighed er derfor at udvikle både bedre isolerende og smallere ramme/karmkonstruktioner. Der er gennemført en række danske forskningsprojekter på området for bedre isolerende og smalle ramme/karmkonstruktioner, men uden at resultaterne er blevet brugt i konkret produktudvikling. Desuden er der på DTU konstrueret prototyper på forslag til fremtidens vinduer med smal og velisolerende ramme/karm (nulenergi- og plusenergivinduer), som peger på store forbedringsmuligheder. Danske vinduesproducenter er så småt ved at tage udfordringen op og de foreløbige resultater har været gode.

Udfordringen er desuden taget op internationalt i projektet RE-FRAME (New Window Framing Technologies for Aerogel and Other Highly Insulating Glazing). RE-FRAME er et EU-finansieret forskningsprojekt med deltagelse af 8 institutioner og firmaer fra Danmark, England, Holland, Schweiz og Tyskland. Projektet er startet op i 2002 og afsluttes primo 2007. Projektets mål er at udvikle ramme/karmsystemer med en U-værdi på 0,6 W/m²K, der matcher U-værdien for 3-lags argonfyldte energiruder. Det er yderligere et mål, at U-værdien for et standard størrelse vindue (1,23 x 1,48 m) heller ikke må overstige 0,6 W/m²K, hvorfor der i projektet også fokuseres på reduktion af den lineære kuldebro i forbindelse med afstandsprofilet og rude/karmsamlingen.

Projektets mål skal opfyldes med så smal ramme/karmløsning som muligt, men da projektet naturligvis er stærkt præget af det europæiske marked med en meget stor andel af indadgående vinduer, har det vist sig vanskeligt at reducere ramme/karmhøjden. Projektet er meget tæt på at realisere en funktionsmodel af et indadgående dreje/kip vindue med en ramme/karmbrede på ca. 80 mm. Den beregnede U-værdi for ramme/karmkonstruktionen ligger mellem 0,60 og 0,65 W/m²K. Den lave U-værdi er opnået ved at udnytte rudens stivhed og styrke kombineret med limning af karmprofilet til ruden. Ramme og karm udføres i kompositmateriale som f.eks. glasfiberarmeret polyester, samt lavdensitet PUR-skum. Ramme/karmkonstruktionen kan anvendes til traditionelle ”varme kanter”, men der arbejdes også med rudekantløsninger af celleglas samt andre tiltag til reduktion af den lineære kuldebro. Med en kantløsning af f.eks. celleglas er vinduets samlede U-værdi beregnet til ca. 0,62 W/m²K med en U-værdi for ruden på 0,55 W/m²K.

3.2.3.4 Behov og muligheder (byggeerhvervets behov og muligheder for forskning, teknologiudvikling og uddannelse)

Der er et stort behov for energimæssigt bedre danske vinduer til lavenergibygninger. Dette skal ses i lyset af nye skærpede energibestemmelser, udsigten til yderligere skærpelser og hensynet til konkurrencedygtighed i forhold til udlandet, hvor der må forventes et voksende marked for lavenergiløsninger.

Der er dog også en række betydelige barrierer for realiseringen af energimæssigt bedre vinduer, såsom holdninger til lysindfald, det danske design, valgfrihed vedr. funktion mv., generel konservatisme hos forbrugere og branche, manglende tro på et marked for bedre

vinduer og høj pris på lavenergi- og jernfattigt glas. Det er vigtigt at få bearbejdet disse barrierer samtidig med de mere varme- og konstruktionstekniske aspekter.

Der er redegjort for muligheder for at udvikle energimæssigt bedre (plusenergi) vinduer, der vil være bedre end de typiske højisolerende vinduestyper, der anvendes i regi af ”Passivhaus” konceptet. Udvikles sådanne vinduer, vil vinduesbranche kunne tilfredsstille en forventelig stor efterspørgelse efter vinduer med disse egenskaber.

For at sikre energieffektive og samtidigt byg- og salgbare løsninger, er der behov at igangsætte tværfaglige forsknings- og udviklingsaktiviteter, hvor vindues- og rudeproducenter samarbejder tæt med forskere, rådgivende ingeniører og arkitekter.

Der er behov og muligheder for forskning og udvikling vedrørende:

Ramme/karmkonstruktioner af nye bedre materialer til smalle og højisolerede profiler.
Vinduer med multifunktioner i form af ventilation, integreret solafskærmning, varierende optiske og isolerende egenskaber i form af persienner, skodder, elektrokrome ruder mv.
Alternative rudeløsninger; 3-lags forsejlet rude, 1+2 rude, 2+1 rude, 2+2 rude, integrering og anvendelse af elektrokrome glas m.v.
Indbygning af vinduer med fokus på varmetab og solindfald.
Simple projekteringsværktøjer, der integrerer vinduesløsninger i det samlede byggeri

Det kan nævnes at CE-mærkning af termoruder har været obligatorisk fra 1. marts 2007. CE-mærket viser at produktet opfylder de deklarerede egenskaber i den tilhørende standard (DS/EN 1279), dvs. er målt eller beregnet på samme måde og dermed kan direkte sammenlignes, og kan anvendes inden for EU-markedet. Standarden betyder en skærpelse af stort set alle krav, herunder f.eks. gas diffusion over tid. CE-mærkning af vinduer og døre bliver obligatorisk pr. 1. februar 2010. En af konsekvenserne af CE-mærkningen er at de energimæssige data ændrer sig. Derfor vil det være meget relevant med en vidensdatabase for ruder, vinduer og yderdøre, hvor de energimæssige egenskaber er opdateret iht. den tilhørende standard (EN 14351-1). En vidensdatabase vil kunne knyttes til udviklingen af simple projekteringsværktøjer.

3.2.3.5 Fokusområder

Fokusområderne for de relevante forskningsinstitutioner vil være baseret på tidligere og igangværende FoU projekter. Der er generelt behov for et tæt samarbejde mellem forskningsinstitutioner og industrien.

Et fokusområde for DTU Byg vil være fortsat forskning i og udvikling af bedre vinduer i tæt samarbejde med producenter af ruder og vinduer, herunder detaljerede beregninger og prøvninger af energimæssige og optiske egenskaber. SBI-AAU's fokusområde er mest på solafskærmnings- og dagslyssystemer, mens Teknologisk Institut har ekspertise og faciliteter til dimensionering og prøvninger af glas, ruder og vinduer og døre.

3.2.4 Glasfacader og -tage, inklusive solafskærmning

3.2.4.1 Beskrivelse af delområdet

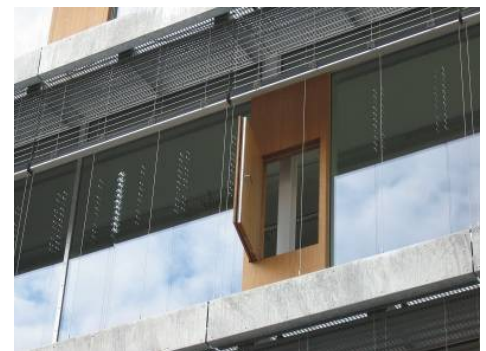
Klimaskærmen influerer på op imod 90 % af en bygnings totale energiforbrug, og en helt afgørende faktor for energiforbruget er størrelsen og typen af de anvendte vindues- eller glasspartier. *Glasfacader og -tage* omfatter alle klimaskærmskonstruktioner der er domineret af (transparent) glas. Der kan være tale om hele facader, hvor glasskærmen er hægtet uden på de bærende konstruktioner, men der kan også være tale om større partier af en facade som udgøres af mere traditionelle vinduespartier. Grænsen til området "Lavenergi-vinduer" er således flydende, og en teknologi, som er udviklet til forbedring af et enkelt vindueselement vil normalt også kunne udnyttes i en hel glasfacade.



Glasfacaden bør ikke betragtes som en simpel skærm, der beskytter det kontrollerede indeklima mod det varierende udeklima. Derimod bør glasfacaden betragtes som et *system*, der skal opfylde en lang række funktioner for at opfylde grundlæggende komfortkrav samtidig med at det sker på en energieffektiv måde. De vigtigste funktioner med hensyn til komfort- og energiforhold er at:

- begrænse varmetabet fra bygningen til det fri
- udnytte solvarme, passivt og aktivt
- beskytte mod store solindfald, som vil medføre overtemperaturer i bygningen
- udnytte dagslys og regulere til aktuelt behov
- tillade udsyn til omgivelserne
- beskytte mod blænding, store kontraster og refleksioner i blanke overflader
- bidrage til (naturlig) ventilation, manuelt eller automatisk reguleret
- beskytte mod støj udefra

Der er således tale om flere modsætningsfyldte funktioner, og derfor må facaden designes ud fra en optimeringsstrategi, hvor de enkelte hensyn vægtes efter den aktuelle prioritering. Netop fordi glasfacaden opfattes som et *system*, omfatter delområdet også *solafskærmningen*, der således betragtes som en integreret del af systemløsningen. Endvidere må det ud fra ovennævnte funktionskrav med hensyn til komfort og energi også være klart, at *facade-systemet* skal fungerer i samspil med bygningens øvrige systemer (installationer og anlæg), primært opvarmning, belysning, ventilation og køling. På grund af denne kompleksitet beskrives facadeløsninger også som "multifunktionelle facader", "dynamiske facader" eller "intelligente facader", betegnelser som alle dækker over, at facadens ydeevne (performance) kun kan beskrives, når dens funktion ses i en større sammenhæng. Selv om der kan være behov for en teknologisk udvikling af facadesystemets enkelte dele, er det vigtigt, at forsknings- og udviklingsindsatsen er baseret på helhedsløsninger frem for komponent- og detailløsninger.



I det følgende beskrives en række varianter af glasfacader, som alle må forventes at blive yderligere udviklet i fremtidens lavenergibyggeri. De valgte eksempler er ikke udtømmende

for de mulige teknologiudviklinger, og de bør ikke betragtes som selvstændige løsninger, men derimod som en del af facade- eller systemløsning, hvor facaden (klimaskærmen) fungerer i samspil med bygningens tekniske installationer.

3.2.4.2 Screening (Udviklings- og forskningsmuligheder)

Et-lags facade ("traditionel glasfacade")

Mange bygninger er i de seneste år opført med facader, der stort set kun udgøres af glaspartier.

Udviklingsmulighederne for selve energiruden er forholdsvis begrænsede da det allerede i dag er sådan, at rudernes varmeisoleringssevne målt ved netto energitransport (varmetab – varmetilskud) overgår vel-isolerede faste ydervægspartier, selv ved orientering mod nord. Lavemissionsbelægninger kan ventes forbedret yderligere, ligesom bedre isolerende afstandsprofiler/kantløsninger og monteringsmetoder vil vinde frem i de rene glasfacader.

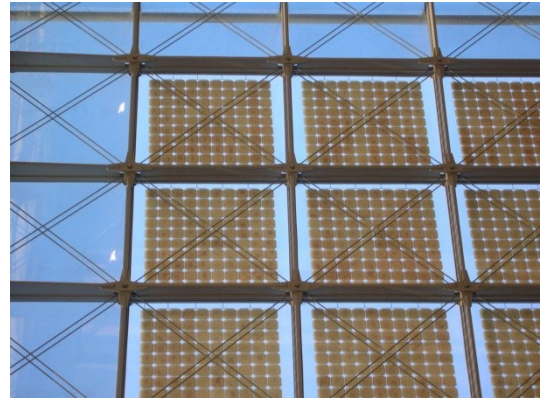
Den store udbredelse af glasfacader skyldes, at de på mange områder opfylder grundlæggende designønsker, fx: - bidrager til ønsket arkitektonisk udtryk (enkelhed, renhed, transparens), - giver meget dagslys, - god lyskvalitet, - tillader godt udsyn, - giver stor passiv solvarmeudnyttelse. Andre fordele er at glasfacaderne kan udføre næsten vedligeholdelsesfri og er ganske robuste over for vind og vejr. Til glasfacadernes svagheder hører at de kun kan fungere i samspil med en effektiv (dynamisk) solafskærmning og med bygningens klimainstallationer. Hvis ikke reguleringen af solindfald og dagslys fungerer, medfører glasfacaderne overforbrug til opvarmning og/eller køling og ventilation samt problemer med det termiske og visuelle indemiljø.

Mulige udviklings- og anvendelsesmuligheder ligger bl.a. i øget anvendelse af 3-lags ruder. 3-lagsruderne har været ret begrænsede i Danmark, men må forventes at få større udbredelse med de skærpede energikrav. For at begrænse rudernes farveforvrængning af dagslyset synes der at være behov for udvikling af ruder standardruder med jernfattigt glas eller eventuelt ruder, hvor det midterste lag blot er en folie. Da udvendig kondens er et problem ved højisolerende ruder ($U < 1,2$), kan der peges på 3 FoU muligheder: 1) Anvendelse af "selvrensende" belægninger, der vil reducere problemet. Der findes flere typer (nanoteknologiske) belægninger, fabribspålagte og in-situ påsprøjtede, men korttids- og langtidsvirkninger kendes endnu ikke. 2) En anden mulighed er større differentiering af facadeglasset således at de bedst isolerende måske er matte/ translucente, men de mere traditionelle er klare. 3) Endelig må det også forudses, at fremtidens mere dynamiske facade vil integrere udvendige afskærmninger og skodder, hvorved kondensproblemet også kan løses. I forbindelse med flere og nye belægningstyper vil der være et behov for FoU indsats for at afklare virkningerne af en antirefleksbehandling af glasset, der både kan øge varme- og lystransmittansen samt reducere gener af reflekser og blænding fra facaderne mod omgivelserne. Elektrokrome ruder er en anden lovende teknologi, der har været under udvikling gennem 15 år. Ved påtrykning af en lille spænding ændres ruden (i løbet af nogle minutter) fra en "klar" rude til en mørkere, hvorved lys- og solvarmetransmittansen kan justeres efter det aktuelle behov. De kommende skærpede energikrav er en klar trussel mod anvendelsen af rene glasfacader. Et af problemerne ved glasfacaderne er kuldebroerne langs afstandsprofilerne og i montagesystemet. En anden trussel kan være at levetiden for nyudviklede rudetyper og montagesystemer ikke opfylder forventningerne, hvilket vil medføre store omkostninger til facaderenovering i "utide".



Glasfacader med integrerede solceller

Mens vinduer og glaspartier traditionelt har været betragtet som klimaskærmens svage element, synes de senere års teknologiske udvikling af solceller at antyde, at glasfacaden i fremtiden ikke blot vil kunne udnytte solvarmen passivt, men også kan blive et led i bygningens aktive energiforsyning. Integrering af solceller har fået stigende interesse, og facadens multifunktionelle funktion åbner flere muligheder for udnyttelse af effekten fra solceller. På kort sigt vil det især være mindre solcellemoduler, der fungerer som lokal strømforsyning for motorer til solafskærmninger eller til ventilatorunderstøtning af naturlig ventilation.



På længere sigt vil der formentlig blive tale om store glaspartier, der er hel-coatede med solceller i form af krystallinske siliciumceller, tyndfilmsceller eller fotoelektriske polymere celler. Internationalt er solcelleteknologien et højt prioriteret område, der samtidig er i hastig vækst. Selvom solcelleproduceret el endnu kun er konkurrencedygtigt i mindre nicheanvendelser, indikerer teknologiens udvikling og potentialer, at solceller som en vedvarende energiteknologi, kan forventes at blive konkurrencedygtig indenfor en

overskuelig årrække, ikke mindst som integrerede elementer i byggeriet.

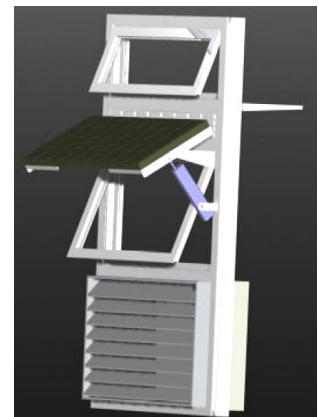
En fordel ved at integrere solceller i glasfacader kan være, at de forholdsvist nemt kan indpasses i denne facadetype og samtidig opfylde æstetiske, image-mæssige og funktionelle krav, fx som lokal strømforsyning for delsystemer i facaden. En anden indlysende fordel kan være, at et solcellesystem måske kan levere det nødvendige marginalbidrag, der bevirker at energirammen kan overholdes. Den indlysende ulempe er, at de endnu er for dyre, at funktionen af solceller er ret sårbar (udsat for vind og vejr, effektkonvertering, skyggeproblemer m.m.)



På kort sigt ligger de største FoU muligheder i at få solceller i glasfacaden til at spille med i intelligente, multifunktionelle facadesystemer. På længere sigt har Danmark begrænset indflydelse på teknologi- og prisudviklingen.

Intelligente, multifunktionelle glasfacader

Der anvendes mange forskellige udtryk for "den ideelle facade, der altid fungerer optimalt". Men principielt er alle facader



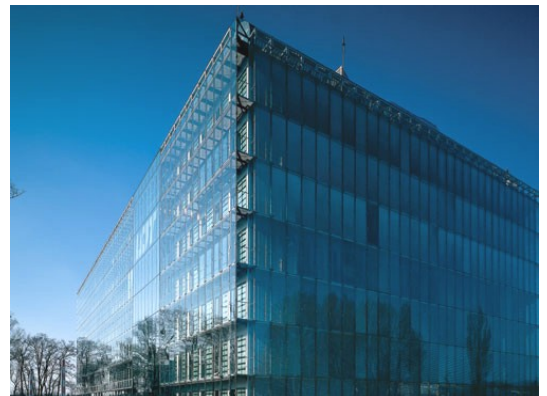
multifunktionelle, idet de altid tjener flere funktioner (mere eller mindre tilfredsstillende). På grund af de mange modsætningsfyldte funktioner, som facaden skal opfylde, er der behov for at facaden kan arbejde dynamisk efter det til enhver tid højest prioriterede behov. Når der er brugere i bygningen vejer de sundheds- og komfortmæssige krav meget tungt, men der uden for brugstiden må prioriteres efter den bedste driftsøkonomi, hvilket i de fleste tilfælde betyder efter det laveste energiforbrug (for de nærmeste timer eller døgn).

Styrken ved en multifunktionel facade er at den kan "tilpasse sig" efter de aktuelle behov, og i højere grad end en traditionel facade kan fungere i samspil med bygningens klimainstallationer. Den væsentligste svaghed er, at det i praksis er meget vanskeligt at få reguleringen af de mange funktioner til at fungere optimalt.

Der er et stort FoU- samt demonstrationspotentialt i udvikling af velfungerende facadesystemer. FoU indsatsen bør foregå i et bredt samarbejde mellem flere forskningsinstitutioner og industrivirksomheder omfattende glasbranchen, facadebranchen, ventilationsbranchen, belysningsbranchen m.fl. Den største barriere for udviklingen af de avancerede facadesystemer synes at være, at de ikke kan bringes til at fungere tilfredsstillende for brugerne. En anden risiko er at anlægsomkostningerne til multifunktionelle facade-systemer bliver for store.

Dobbeltfacader

Dobbeltfacader er karakteriseret ved at der er placeret en ydre transparent facade uden for den indre (primære) klimaskærm, således at der optræder et luftmellemrum mellem den ydre og den indre skærm. Denne type facade har vundet gradvist større indpas i Danmark, og det forudses, at udbredelsen vil øges væsentligt i de kommende år pga. de nye energibestemmelser og de planlagte skærper i 2010 samt 2015.



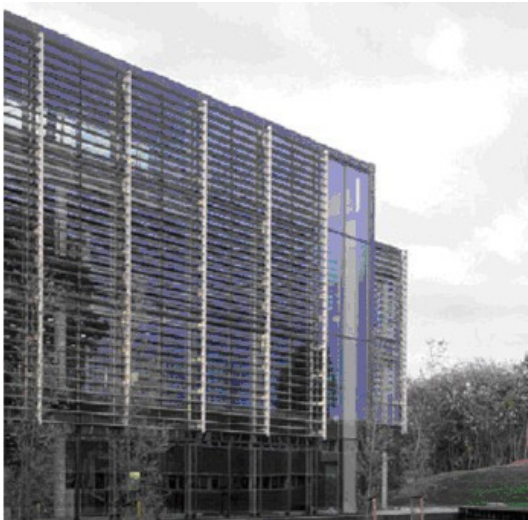
Dobbeltfacaden vinder frem fordi den på flere måder gør det nemmere at opfylde de mange funktionskrav, som stilles til facaden, samtidig med at der spares energi (10-30 pct. af en bygningens samlede energiforbrug sammenlignet med en traditionel facade), indeklimaet forbedres og bygningens tilsigtede arkitektoniske udtryk kan bevares (enkelthed, transparens, åbenhed, m.fl.). Der findes flere forskellige principper for udførelsen af dobbeltfacader, men det er i alle tilfælde en ganske kompliceret sag at få dobbeltfacaden til at fungere som et optimalt system under alle ude- og indeklimaforhold. En anden svaghed ved dobbeltfacader er, at de er for kostbare.

Forsknings-, udviklings- og demonstrationspotentialt ligger bl.a. i undersøgelser vedrørende kuldebroer, tæthed samt strømnings- og temperaturfordi i de forskellige varianter samt demonstrationsprojekter som dokumenterer, at dobbeltfacader kan reducere energiforbruget, samtidig med at indeklimaet forbedres. Imidlertid er det en afgørende barriere for korrekt udførelse af dobbeltfacader er, at der ikke findes projekteringsværktøjer, som kan benyttes i beslutningsprocessen omkring analyse og valg af den optimale dobbeltfacadeløsning. Der bør derfor udvikles værktøjer som kan simulere

dobbeltfacaders termiske og energimæssige egenskaber og samspillet med resten af bygningen og dens systemer.

Solafskærmninger

Solafskærmningen vil altid indgå som et element i en glasfacade, idet den er afgørende for at facadesystemet kan opfylde både energimæssige og komfortmæssige krav. I forbindelse med glasfacader kan der anvendes mange forskellige typer, hvoraf de mere innovative er opbygget således at de er bedre i stand til at regulere på dagslyset. Ved hjælp af specialudviklede profiler eller mikrostrukturer kan nogle systemer redigere direkte sollys, mens de tillader diffust himmellys at passere. Regulering af solafskærmninger og dagslyssystemer er i de seneste år blevet udviklet til i højere grad at fungere som en integreret del af hele klimareguleringen.



Med de skærpede energikrav vil solafskærmninger (og dagslyssystemer) vinde yderligere frem i forbindelse med glasfacader og -tage. Et ønske hos arkitekter og bygherrer om at kunne fastholde nogle af de æstetiske og designmæssige fordele som glasset giver, vil uundgåeligt medføre en udvikling af mere integrerbare, udvendige og dynamiske afskærmningsløsninger. Men samtidig kan der ligge en svaghed i at solafskærmninger kan være vanskelige at indpasse i arkitektens forestilling om bygningens arkitektoniske udtryk. Udvendige solafskærmninger fungerer mest effektivt, men de fleste har den svaghed, at de ikke er tilstrækkeligt robuste til at modstå vind og vejr, hvilket vil medføre høje vedlige-

holdelsesomkostninger.

Der ligger et stort FoU samt demonstrationspotentiale i videreudvikling af effektive solafskærmninger. Specielt må der peges på funktions-robuste systemer der kan medvirke til at opfylde facadesystemets vigtigste funktioner, samtidig med at der lægges vægt på at systemerne tilgodeser brugernes primære behov: at kunne se ud, at undgå blænding samt at begrænse direkte solindstråling. Specielt er der behov for udvikling af nye reguleringssystemer, der kan integreres med bygningens øvrige systemer. En barriere for anvendelsen af solafskærmninger i glasfacader kan være, at der ikke er tilstrækkeligt datamateriale som beskriver afskærmningers egenskaber i de mange kombinationsmuligheder som findes (rudetyper, udvendig, indvendig, integreret etc.) samt at der ikke findes værktøjer som kan benyttes til at simulere de dynamiske reguleringsfunktioner.



3.2.4.3 Koblinger (sammenhænge mellem forskningen og byggeerhvervenes teknologiske udfordringer)

På flere områder har der traditionelt været en god sammenhæng mellem forskningen og byggeriets teknologiske udfordringer vedrørende glasfacader og -tage samt afskærmninger. Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) har gennem mange år forsket i energimæssige og komfortmæssige aspekter af forskellige facadeudformninger, solafskærmninger, dagslyssystemer, rudetyper m.m. Som Operating Agent for IEA SHC Task 21: Daylight in Buildings (1995-2000) har SBI medvirket til opbygning af et omfattende internationalt netværk af forskningsinstitutioner og industrivirksomheder. Det internationale samarbejde er fortsat i IEA SHC Task 31: Daylighting Buildings in the 21st Century (2001-2006) og i EU-projektet ECCO-Build (Energy and Comfort Control for Building Management Systems, 2002-2006), der bl.a. fokuserede på integrerede reguleringssystemer og indvirkningen heraf på energiforbrug og komfortforhold. Gennem samarbejde med projekterende, glasbranchen, vinduesfabrikanter samt solafskærmningsbranchen er der gennemført en række projekter som sigter på at afdække energi- og komfortforhold ved anvendelse af glasfacader. Endelig har DTU og SBI i samarbejde F&U-projektet: Udvikling af nye typer solafskærmningssystemer baseret på dagslyssdirigerende, solafskærmende glaslameller, der i 2009 munder ud i et demonstrationsprojekt på en konkret bygning. Blandt de relevante projekter kan nævnes:

Højisoleret kontorbyggeri med glasfacader
Facaderenovering med glas
Højisolerende glaspartier i nye etageboliger
Miljøvurdering af vinduer
Arkitektur, energi og dagslys
Elproducerende solafskærmninger
Integreret regulering af solafskærmning, dagslys og kunstlys
Udvikling af værktøjer til at fremme energieffektiv anvendelse af solafskærmninger
Udvikling af nye typer solafskærmningssystemer baseret på dagslyssdirigerende, solafskærmende glaslameller
Demonstration af nyt solafskærmningssystem baseret på dagslyssdirigerende, solafskærmende glaslameller
Thi-Fi-Tech – application of thin-film technology in Denmark (solceller)

Alle projekter er gennemført i et tæt samarbejde med byggeerhvervets aktører: praktiserende arkitekter, projekterende og udførende ingeniører, relevante industripartnere samt bygherrer. Og alle projekter har haft karakter af innovation med henblik på at skabe energi- og miljømæssige gode løsninger.

Gennem det internationale samarbejde samt de nationale forskningsprojekter har SBI opbygget en kompetence som dækker bredt med hensyn til forskning og udvikling i nye lavenergi facadeløsninger.

Aalborg Universitet (AAU) har opbygget en unik testfacilitet til afprøvning af facadesystemers funktion, og deltager i øjeblikket i det Internationale forskningsprojekt IEA SHC Task 34 "Testing and Validation of Building Energy Simulation Tools". I projektet udvikler AAU en model til beregning af energi- og luftstrømningsforhold i dobbeltfacader, og AAU har her ansvaret for udvikling af en benchmark testcase for dobbeltfacader, der både består af en serie beregningstestcases og af en serie eksperimentelle laboratorie testcases. Dette arbejde er finansieret af STVF og afsluttes i begyndelsen af 2007.

Forskning vedrørende facadeintegrerede solceller foregår både på SBI og på Teknologisk Institut (TI), og de to institutter har flere samarbejdsprojekter (afsluttede og igangværende) med aktiv deltagelse af glas- og solcellebranchen.

Forskningen vedrørende solafskærmninger foregår primært på SBI og BYG-DTU. SBI har især fokuseret på reguleringen, de visuelle forhold samt brugerpræferencer for brug af afskærmninger, mens BYG-DTU især har forsket i de termiske og energimæssige forhold. De to forskningsinstitutioner har to samarbejdsprojekter, hvor også industrien deltager aktivt.

De skærpede energibestemmelser medfører nye udfordringer for byggebranchen, og rejser et behov for tættere samarbejde mellem industrien og forskningen, specielt vedrørende udviklingen af velfungerende multifunktionelle facadesystemer. Flere forsøg inden for de seneste år på at etablere en form for innovationskonsortium er slået fejl, formentlig fordi et meget stort antal aktører er nødvendige, medens usikkerheden om hvorvidt konsortiet vil blive etableret er stor. Hos de projekterende er der opstået et behov for værktøjer, der kan simulere funktionen af de komplekse facader, inklusive de integrerede reguleringssystemer, som er nødvendige for facadernes optimale ydelse.

3.2.4.4 Behov og muligheder (Byggeerhvervets behov og muligheder for forskning, teknologiudvikling og uddannelse)

I et følgende angives en liste over byggeerhvervets udtalte behov for forskning, udvikling, demonstration og videnformidling, idet de relevante brancher udtrykker stor interesse for at deltage i FoU indsatserne.

Glasfacader generelt

Forskning der kan resultere i anvisninger vedrørende kuldebroer ved forskellige montageløsninger. Forskning og anvisninger på samspil mellem glasfacade, solafskærmning og dagslysforhold

Multifunktionelle facader

FoU indsats i et bredt samarbejde (konsortium) mellem mange aktører:

forskningsinstitutioner, projekterende og industrien

FoU indsats vedrørende integrerede reguleringssystemer til facadesystemer

Dobbeltfacader

Forsknings- og udredningsprojekt vedrørende forskellige systemløsningers egnethed til forskellige bygningstyper og driftssituationer

Værktøjer, der kan simulere de termiske og energimæssige forhold i dobbeltfacader (findes ikke i dag)

Solafskærmninger

Anvisninger vedrørende solafskærmningers egenskaber i kombination med forskellige rude- og facadetyper

Forskning vedrørende integrerede reguleringssystemer

Projekteringsværktøjer

Behov for udvikling af metoder og (intelligente) værktøjer, der kan understøtte udviklingen af det enkelte lavenergiprojekt helt fra koncept- og skitsestadiet. Et sådant værktøj skal bruges både af arkitekt og ingeniør og tjener bl.a. til at fremme en egentlig integreret designproces

Værktøjer der kan simulere de komplekse facadesystemer, inklusive de dynamiske forhold og reguleringer, som finder sted hen over dagen og året.

Demonstrationsprojekter

Behov for gode, markante demonstrationsprojekter, der dokumenterer energi-, indeklima- og økonomiforhold for lovende glasfacadeløsninger

Commissioning

Behov for standardprocedurer for funktionskontrol ved aflevering og drift af dynamiske facadesystemer

3.2.4.5 Fokusområder

Fokusområderne for de relevante forskningsinstitutioner vil være baseret på tidligere og igangværende FoU projekter, som beskrevet ovenfor, men for de mest komplekse facadesystemer er der behov for et bredt samarbejde mellem flere forskningsaktører og mange industripartnere. Et fokusområde for SBi vil også være udvikling af metoder og værktøjer der kan understøtte et byggeprojekt fra koncept til færdigt byggeri.

3.3 Installationer

”Installationer” omfatter tekniske installationer vedrørende opvarmning, varmt brugsvand, køling, ventilation og belysning.

3.3.1 Energibesparende elektriske belysningsanlæg

3.3.1.1 Beskrivelse af delområdet

Delområdet omfatter den samlede belysningsløsning, dvs. lyskilde, armatur/ belysningskoncept samt styrings- og reguleringsudstyr. "Armatur" skal her opfattes i hel bred forstand som et middel til at fordele lyskilden lysstrøm i rummet, fx kan en håndliste med indbyggede lysdioder således være et armatur. I de seneste år er der udviklet nye energieffektive lyskilder, belysningsarmaturer og automatiske styrings- og reguleringsystemer, hvilket har nedbragt den nødvendige installerede effekt og dermed energiforbruget væsentligt. Til trods for at mange nye enkeltkomponenter er kommet på markedet, ses det imidlertid sjældent i dagens byggeri, at komponenterne anvendes integreret i et både energieffektivt og ergonomisk belysningsdesign. Energiforbruget til kontorbelysning varierer kraftigt fra bygning til bygning og udgør i gennemsnit ca. 40 % af det samlede elforbrug. Det er bemærkelsesværdigt, at selvom der inden for de seneste 5-10 år er sket en hastig teknologisk udvikling af mere effektive lyskilder, belysningsarmaturer og reguleringsystemer, viser flere undersøgelser, at det typiske anlæg i dag sjældent lever op til dagens krav vedrørende energieffektivitet eller lyskvalitet. Der er således også blevet øget opmærksomhed på at integrere dagslysudnyttelsen i den samlede belysningsløsning, men en øget dagslystilførsel til et rum giver i sig selv ingen el-besparelse. En betingelse for besparelsen er, at den kunstige belysning styres efter dagslyset. Fordelene ved at udnytte dagslyset i bygninger og en gennemgang i hvad der skal tages hensyn til i relation til det er forklaret i SBI-anvisning 219.

Besparelspotentiale

I 2003 var elforbruget i den offentlige sektor 4,2 TWh/år (uden elvarme). Med henvisning til "Energihåndbogen", Foreningen for Energi og Miljø, 2002, samt Elsparefonden, 2008, oplyses at andel af elforbrug til belysning fordeler sig således (overlap mellem grupperingerne):

Industri	7 %
Handel og service	29 %
Boliger	17 %
Offentlige virksomheder	31 %
Kontor og administration	40 %
Skoler	50 %
Døgninstitutioner	35 %

For den offentlige sektor er det vurderet at det teoretiske besparelspotentiale udgør 1,2 TWh/år, hvilket svarer til ca. 28 procent af den offentlige sektors samlede elforbrug (4,2 TWh/år). Energibesparelspotentialet til belysning for den offentlige sektor "her og nu" antages at være 0,38 TWh/år, mens et lidt mere langsigtet mål er 0,54 TWh/år. Dertil kommer den private sektor. Der er således et betydeligt besparelspotentiale ved at udforme kontor- og institutionsbygninger med en bedre tilpasning til rummenes funktion og brugernes aktiviteter, således at behovet for belysning kan reduceres ved en bevidst udnyttelse af dagslyset uden at forringe kvaliteten af belysningen. Den hidtidige forskning understøtter at dagslyset i størst mulig udstrækning bør dække det daglige belysningsbehov, og den kunstige

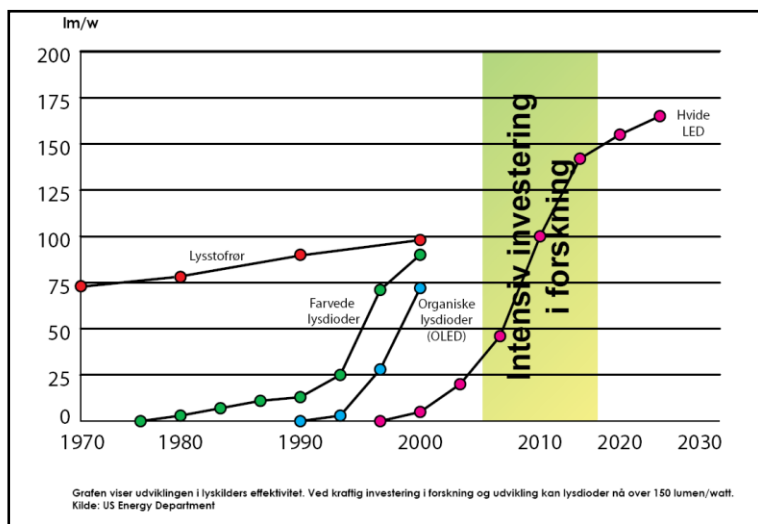
belysning skal tilrettelægges således, at det skabes der rette betingelser i de perioder og områder, hvor dagslyset ikke er tilstrækkeligt. Kommende udfordring kan derfor være, at der opstår et større behov for et mere fleksibelt belysningsmiljø, som både tilgodeser skiftende arbejdsopgaver og individuelle ønsker og behov. Om resultatet bliver væsentligt højere belysningsniveauer end de niveauer, der normalt anvendes i Danmark, er endnu meget usikkert. Men en bevidst energieffektiv belysningsplanlægning kan opfylde kravene til god belysningskvalitet.

I målsætningen om at reducere elforbrug til belysning er der mange hensyn at tage. Lyskilder med høj effektivitet (lm/W) bør bruges, men der skal tages til lysfarven og farvegengivelsen. Armaturet skal have en høj virkningsgrad men lysfordelingen fra armaturet og armaturenes placering i forhold til brugeren og reflekterende flader er afgørende faktorer for blanding. Elektronikken skal bruge så lidt effekt som muligt og understøtte lyskvaliteten. Lysstyring skal understøtte brugernes behov og æstetik, men sluk eller dæmp for lyset i de perioder /områder der ikke er brug for belysning.

3.3.1.2 Screening (udviklings- og forskningsmuligheder)

Lyskilder

De to almindeligste former for lyskilder er de såkaldte temperaturstrålere (glødelamper, halogenglødelamper) og luminescensstrålere (lysstofrør, sparepærer, kompakte lysstofrør og kviksvølvlamper). Desuden findes såkaldte damplamper. Relativt nyt på markedet er lysdioderne - også kaldet LED (Light Emitting Diode) . Udviklingen inden for lysdioder går meget stærkt og derfor ændrer specifikationer, egenskaber og anvendelsesmuligheder sig hele tiden.. Det næste spændende produkt på vej ind til markedet er OLED (Organic Light Emitting Diode) som medfører nye muligheder for design med udformnings fleksibilitet og potentialer for en transparent flade.



Lysdioder er på mange måder fremtidens lyskilde, som er på vej ind mange forskellige steder både udendørs og indendørs. Lysdioder er små elektroniske komponenter, som udsender lys, når der sendes strøm igennem dem. Der er ingen glas, glødetråde eller gasser undertryk som i andre lyskilder. En lysdiode bruger typisk fra 0,1 W til 5 watt og kræver en særlig elektronik til at drive lysdioden. Fordelene ved dioderne er, at de er små robuste og har en meget

lang levetid i forhold til traditionelle lyskilder. 25.000-50.000 timer er mulige, hvilket er 25-50 gange længere end standardglødepærer. På grund af de små dimensioner kan de indbygges i eksempelvis hylder, skabe, gelændere og trapper. Dioderne findes i flere forskellige farver og som almen belysning skal man være opmærksom på om man ønsker en varm eller en koldt lysfarve. De bedste lysdioder har en farvekvalitet, der i dag er bedre eller på niveau med gode lysstofrør og sparepærer. Ulempen er, at de endnu er relativt dyre. Effektivitetsmæssigt målt som lysmængde pr. watt er de bedste dioder i dag bedre end glødepærer og halogenpærer og

giver op til 60 lumen/watt. Der har været og forventes fortsat en kraftig udvikling inden for dioder til belysning i de kommende år. FoU indsatsen i Danmark har været koncentreret om anvendelsen af dioder, udvikling af styringselektronik, optik, reflektorer og belysningsløsninger der kan erstatte energikrævende belysningsløsninger: glødelamper, halogen spot m.fl. I første omgang vil udviklingen fokusere på lysdioderne som spot- og effektbelysning i boliger, hoteller, butikker, bygninger, trapper, gange og museer m.m. Næste trin er kontorbelysning, men der vil gå nogle år før der kommer løsninger til dette område fordi lysdioderne effektiviteten er ikke tilstrækkelig, farvekvaliteten endnu ikke god nok og lysmængden fra den enkelte lysdiode er ikke høj nok til at det er rentabelt at skifte til lysdioder.



Dæmpning af lyskilder

Når man styrer eller regulerer lysstrømmen fra en lyskilde, kan det have forskellige konsekvenser for lyskildens levetid, lysudbyttet og farveegenskaber. For temperaturstrålere kan dæmpning forøge levetiden væsentligt. For luminescensstrålere begrænses strømmen gennem lyskilden ved en forkobling og valg af forkobling har indflydelse på energiforbrug og muligheder for lysregulering. De senere års udvikling af højfrekvente forkoblingsenheder (HF-spoler med en frekvens på ca. 30.000 Hz) har bevirket, at disse reguleres flimmerfrit fra fuld styrke til ganske få % lysudsendelse. Reguleringen af et armatur med en HF-forkobling med dæmpning kan ske ved hjælp af et 1-10 volt signal eller med DALI (Digital Addressable Lighting Interface) eller IP-styring, der kan styres manuelt eller elektronisk ved hjælp af en sensor, der måler belysningsstyrken i lokalet. Fordelene ved DALI og IP er at den forøger styringsmuligheden til en grad hvor man kan gå ind og styre det enkelte armatur dermed få en mere fleksibel løsning. Ved dæmpning af lysstofrør og temperaturstrålere ændres farvetemperaturen lidt til et mere 'varmt' lys jo mere der dæmpes.

Belysningssystemer og koncepter

Det voksende antal skærmarbejdspladser blev starten på udvikling af nye og forbedring af eksisterende belysningskoncepter. Ofte bliver armaturerne til almenbelysningen fordelt jævnt over hele lokalet, og der opnås ofte ensartet belysningsstyrke overalt. Hvis belysningskonceptet blev tilpasset den enkelte arbejdsplads eller grupper af arbejdspladser vil det uden tvivl føre til bedre og mere fleksible løsninger. Dog skal den projekterende have kendskab til arbejdspladsernes placering, lokalets øvrige indretning og farve- og materialevalg, hvilket ikke altid er gældende praksis.

Der er en lang tradition for at belysningsanlæg i kontorer, skoler og institutioner udføres med armaturer i et jævnt mønster over hele loftet, således at der opnås en ensartet belysning i hele lokalet. Imidlertid er personers behov for lys forskelligt, og de fleste personer foretrækker at supplere belysningen med en arbejdslampe. Dagens typiske belysningskoncepter giver ikke umiddelbart plads til sådanne løsninger. FoU indsatsen i Danmark kan fokusere på behovet for individuel styring og acceptable variationer i belysningen, da erfaringer fra udlandet tyder på at en simpel individuel styring medfører et væsentlig lavere energiforbrug. Selv belysningsanlæg, der har en betydelig højere installeret effekt end almindelig praksis, giver besparelser, da sådanne anlæg bliver reguleret individuelt efter behov, og derfor ikke er "tændt" året rundt til et fast ensartet niveau. Forskningen viser endvidere at dagslysets karakteristiske dynamik med lys/mørke variation og kontinuert, spektral sammensætning er med til at synkronisere det biologiske ur. Dynamisk lys er et nyt fleksibelt lyskoncept der både kan skifte lysfarve og lysintensitet. Foreløbige forskningsresultater peger i retning af, at dynamisk variation i henholdsvis lysfarve og lysintensitet henover dagen kan stimulere personers sundhed, komfort og arbejdsglæde. FoU indsatsen i Danmark vil være at koncentrere omkring brug af dynamisk lys for at afdække hvilke muligheder, der vil være for både at integrere energibesparelser med belysningskvalitet og at skabe større komfort og arbejdsglæde. I tillæg vil erfaringerne med dynamisk lys kunne anvendes i fremtidens udvikling af LED-belysningsarmaturer.

Styrings- og reguleringsudstyr

Det seneste årtiers udvikling af HF forkoblinger med dæmpning har gjort det muligt at regulere lysstrømmen fra lysstofrør kontinuert helt ned til 3 % af fuld lysudsendelse (uden flimrer). De højfrekvente belysningsanlæg giver samtidig en elbesparelse på grund af et mindre tab i forkoblingsenheden og et større lysudbytte fra lyskilden. Man skelner mellem to hovedprincipper for styring af den kunstige belysning nemlig ved lysstyring og lysregulering.

Ved lysstyring forstås en ændring i den udsendte lysstrøm ved hjælp af en kontakt eller lyssensor, som ikke modtager en tilbagemelding om den udsendte lysstrøm (en åben kreds). Lysstyringen kan således være en automatisk eller manuel ændring af den udsendte lysstrøm (on/off eller kontinuert) bestemt af et sæt styringskriterier f.eks. en udvendig lyssensor, der styrer efter dagslysniveauet i det fri uden hensyntagen til et eventuelt belysningstilskud fra den kunstige belysning, et potentiometer, et ur eller et skumringsrelæg.

Ved lysregulering forstås en ændring i den udsendte lysstrøm ved hjælp af en lyssensor, som opretholder et givet belysningsniveau, idet den modtager en tilbagemelding om belysningsniveauet (en lukket kreds). Lysreguleringen kan således være en automatisk ændring af den udsendte lysstrøm fra armaturerne (on/off eller kontinuert) bestemt af et sæt styringskriterier f.eks. en indvendig lyssensor, der registrerer det samlede belysningsniveau fra kunstlyset og dagslyset i rummet.

Lysstyring

Da der er en sammenhæng mellem belysningsstyrken fra dagslys i lokalet og belysningsstyrken i det fri, kan styresystemet beregne, hvor stor belysningsstyrken er i lokalet fra dagslyset, når det måler, hvor meget dagslys der er i det fri. Hvis det beregnede belysningsniveau bliver mindre end et ønsket niveau suppleres med kunstig belysning. Svagheden ved denne lysstyring er, at denne sammenhæng mellem dagslyset i det fri og inde kan ændres betydeligt f.eks. ved anvendelse af bevægelige afskærmninger. Hvis det aktuelle belysningsniveau fra dagslyset i lokalet af denne årsag bliver mindre end det systemet beregner, kan belysningsniveauet blive for lavt. Der er udviklet systemer, hvor

solafskærmninger og belysningsanlæg styres i hele bygningen ved hjælp af en vejrstation på bygningens tag, og en computer der beregner, hvor meget lys der er i de enkelte lokaler med eller uden solafskærmning.

Lysregulering

Da lysreguleringen tager hensyn til den samlede belysningsstyrke i lokalet vil reguleringen tage hensyn til en eventuel anvendelse af en solafskærmning eller en anden udelukkelse af dagslysindfaldet, idet systemet principielt prøver på at opretholde et givet belysningsniveau. Reguleringen sker ved, at en lyssensor, der normalt er placeret på loftet, styrer armaturenes lysudsendelse efter dets aktuelle behov. Den ideelle regulering forekommer ved at holde et konstant niveau for belysningsstyrken på arbejdsplanet og supplere med kunstig belysning, når der ikke er tilstrækkeligt med dagslys. Konstant lysregulering forudsætter endvidere, at en given belysningsstyrke på arbejdsplanet svarer til en given lysstrøm til fotocellen, uanset om lyset kommer fra dagslyset eller den kunstige belysning. En anden metode til regulering af de enkelte armaturer består i, at der på hvert armatur klipses en lyssensor, som forbindes direkte til den dæmpbare HF-forkobling i stedet for de 2 ledninger til 1-10 Volt signalet. Lyssensoren som ikke er særlig kostbar, regulerer efter belysningsniveauet under armaturet, og den kan indstilles individuelt efter behovet for lys.

Bevægelsesmeldere

I lokaler, hvor brugerne ikke opholder sig konstant, sker den enkleste automatiske lysstyring ved hjælp af en bevægelsesmelder placeret ved indgangsdøren eller i et armatur, som tænder eller slukker lyset, afhængig af, om der er personer i lokalet. Den mest anvendte detektor er af PIR-typen (Passiv Infra Rød sensor), som består af en detektor, der registrerer en varmestråling (IR-stråling) og en elektronikdel, der kan tænde eller slukke belysningen. Ultralydssensorer er en anden detektortype, der kan registrere bevægelser, ved hjælp af udsendelse af lydbølger ved en frekvens, der ikke kan høres. Ulempen ved disse er, at der kan opstå detektionsproblemer i almindelige omgivelser. Styringen bør vælges således, at lyset skal tændes manuelt, når man kommer ind i lokalet for at undgå, at det tændes uden der er behov for lyset. Styringen kan også kombineres med en sensor, der registrerer belysningsniveauet, således at tændingen kun sker, hvis der ikke er tilstrækkeligt med dagslys. Den seneste udvikling af bevægelsesmeldere er de såkaldt intelligente bevægelsesmeldere, der over en periode kan indlære og huske et brugsmønster for et kontor, og således slukke lyset hurtigere, når personen først forventes tilbage på et senere tidspunkt.

De seneste års internationale forskning har vist at design af et godt belysningsmiljø bliver stadig mere komplekst. Traditionelt har den rådgivende branche koncentreret sig om, at belysningsmiljøet skal skabe de rette synsbetingelser for synsopgaven i lokalet og tilgodese den enkeltes behov. Dette skal understøttes af et godt samspil mellem lyset fra vinduerne og lyset fra den kunstige belysning samt fornuftig balance mellem styrken af det anvendte lys, dets placering og retning. Imidlertid tyder meget at den nye internationale forskning på, at fremtidens belysningsmiljø også skal understøtte sundhedsfaktorer, men hvordan dette indarbejdes i selve designet af et godt belysningsmiljø, er endnu uafklaret. Men det vi ved, er at det lys, som har betydning for vor sundhed er forskellig fra det lys som har betydning for vor synsfunktion. Hvilke forhold eller kombinationer af forhold som vil lede til 'optimal' sundhed og velvære kan vi i dag ikke beskrive helt præcist. Dog er det vigtigt at integrere energibesparelser med belysningskvalitet, sundhed og velvære, idet indsatser baseret på her og nu korttidseffekter kan have afgørende sundhedsmæssige langtidseffekter.

FoU indsatsen i Danmark vil være koncentreret om at fremme anvendelsen af energibesparende, stabile og brugervenlige systemer til styring og regulering af belysningsanlæg i kontorer, skoler, institutioner m. fl. ("Det rigtige system til en given anvendelse"). Erfaringer fra FoU-projektet "Funktionssikring af energieffektive lysstyringer" (der anviser metoder til sikring af at lysstyringer opfylder bygherres forventninger og fungerer som det er beskrevet i udbud) har vist, at der er en række barrierer for opnåelse af de forventede energibesparelser og brugerkomfort. Erfaringerne kan relateres til tekniske problemer omkring selve produkterne deres reguleringsfunktioner, indstillingsmuligheder, brugervenlighed og vejledninger. Alle - og sikkert flere til - er problemer, der er begrænsende for opnåelse af energisparepotentialet og som på sigt forhindrer en effektiv brug og udbredelse. Branchen erkender da også at en overvejende del af de eksisterende lysstyringsanlæg ikke fungerer efter hensigten. Set i dette lys, er der således FoU behov for en systematisk undersøgelse af de forskellige systemers tekniske funktioner og energisparepotentiale, en undersøgelse der ikke tidligere er blevet foretaget. Desuden er det vigtigt at FoU indsatsen også fokuserer på at give de projekterende klarhed over, hvilke styringsprincipper, der giver det laveste energiforbrug og den bedste brugerkomfort i forhold til bygningstype og rumkategori.

3.3.1.3 Koblinger (sammenhænge mellem forskningen og byggeerhvervenes teknologiske udfordringer)

I de senere år er igangsat en række PSO støttede F&U projekter i bestræbelserne på at udnytte LED-teknologien til praktisk anvendelse i belysningsanlæg. Først i denne udvikling er DTU Fotonik, Light Sources & Industrial Sensors, som har arbejdet på anvendelse af teorier om lys. Diode Lasers & LED Systems gruppen arbejder med at udvikle belysning, der har en bedre lyskvalitet, farveblanding, kontrol og effektivitet. Dette foregår i gennem deres projekter hvor de samarbejder med de forskellige relevante parter. Eksempler på deres projekter er f.eks. design, udvikling og karakterisering af LED lyskilder og LED lamper til generel belysning som erstatning for gløde- og halogenpærer. Et projekt som havde til formål at udvikle en 3 W hvid diodelyskilde, der kan erstatte 15 W glødepære. Lyskilden har et elforbrug på kun 1,1 W og kan erstatte konventionelle 15W glødepærer. Produktet var udviklet af DTU fotonik, diodelysfirmaet RGB Lamps, lysarmaturproducenten Nordlux samt NESAs. DTU fotonik udviklede derefter en diodelyskilde (LED) på 3-6 W, der kan erstatte en 25-40 W glødepære, og der designedes og udvikledes prototyper til hhv. skrivebordslampe og spisebordslampe hvor der traditionelt bruges glødepærer. I forbindelse med projektet blev 10-15 designere uddannet i LED teknologien. Dette foregik i samarbejde med RGB Lamps, Louis Poulsen Lighting Morfoso, Laboriet Lys&Syn, Dong Energy, Jesper Olsen og Christian Flindt Design.

SBi har i samarbejde med byggeerhvervet (projekterende, leverandører og udførende i projektet udgivet SBi-anvisning 220: Lysstyring (Funktionssikring af energieffektiv lysstyring). I dette projekt etableredes et komplet system for beskrivelse, indregulering og afprøvning af lysstyringsanlæg med det formål at sikre, at sådanne anlæg kan fungere i praksis og at de mulige energibesparelser faktisk realiseres. I samarbejde med Dansk Center for Lys og Fotonik, (DTU, Risø) har SBi desuden gennemført projekter der skal bidrage til en hurtig markedsindtrængning af energieffektive LED-armaturer med høj lyskvalitet. Dette mål søges opnået gennem etablering af systematiske kvalitetsvurderingsmetoder, vurdering af en række konkrete armaturer samt opbygning af et mobilt LED-laboratorium, LED-LAB, der tænkes anvendt til demonstration og undervisning af designere, arkitekter, ingeniører, elskelskaber og installatører i anvendelse af LED-løsninger og dermed i at tænke i energieffektive løsninger.

3.3.1.4 Behov og muligheder (byggeerhvervets behov og muligheder for forskning, teknologiudvikling og uddannelse)

I et følgende angives en liste over byggeerhvervets behov for forskning, udvikling, demonstration og videnformidling, idet de relevante brancher udtrykker stor interesse for at deltage i FoU indsatserne.

Lyskilder

Videreudvikling af styringselektronik, optik, reflektorer til belysningsløsninger der kan erstatte energikrævende belysningsløsninger: glødelamper, halogen spot m.fl. Fokus skal sættes på lyskvaliteten fra disse løsninger.

Belysningssystemer og koncepter

FoU vedrørende udvikling af belysningssystemer baseret på individuelle behov og præferencer

FoU der sigter på at udvikle beregningsmetoder og simuleringsprogrammer der kan beregne dagslysforhold i rum og bygninger og bedre integrere hensyn til dagslyset i den samlede belysningsløsning

Styrings- og reguleringsudstyr

Forskning og udredning, der dokumenterer de faktiske energibeparelsespotentialer ved forskellige styrings- og reguleringssystemer

FoU der kortlægger funktionen af styring og regulering for LED-belysning

FoU og demonstrationsprojekter der dokumenterer nye el-effektive belysningsløsninger ud fra helhedsbetragtninger (økonomi, el-forbrug, besparelsespotentialer, driftsforhold, komfort m.m.)

3.3.1.5 Fokusområder

Fokusområderne for de relevante forskningsinstitutioner vil være baseret på tidligere og igangværende FoU projekter, som beskrevet ovenfor.

3.3.2 Varmeanlæg

3.3.2.1 Beskrivelse af delområde

Opvarmning af lavenergibygninger, boliger såvel som kontorer, har til formål at sørge for en komfortabel temperatur og temperaturfordeling indendørs. Et opvarmningssystem består af varmegivere (radiatorer, konvektorer, varmluftindblæsningsarmaturer, integrerede varmegivere (gulv, væg, loft)), varmfordelingssystemet (pumper, ventilatorer, luftkanaler, ventiler, rør net), varmeproduktionen (kedel (gas, olie), varmepumpe, fjernvarme, CHP, solvarme), reguleringssystemet.

Opvarmningssystemets energi effektivitet er således afhængig af. Hvor effektivt varmen overføres til rummet uden overtemperatur (regulering) og energiforbrug og tab i fordelingssystemet samt effektiviteten af varmeproduktionen. Beskrivelse af delområdet, dvs. relation mellem varmeanlæg og energiforbrug opdeles derfor i følgende punkter:

- A. Energitab (effektivitet) ved varmeoverførslen til rummet
- B. Energiforbrug til varmetransporten i fordelingssystemet
- C. Energiforbrug til varmeproduktionen

Her følger en kort beskrivelse af hvert af disse 3 områder:

A. Energitab (effektivitet) ved varmeoverførslen til rummet

Hvor effektivt varmen afgives til rummet afhænger af typen af varmegivere (radiatorer, konvektorer, varmluftindblæsningsarmaturer, integrerede varmegivere (gulv, væg, loft), placeringen af varmegiverne og den anvendte regulering. Der stræbes efter at få en ensartet temperaturfordeling i opholdszonen og undgå unødvendige tab på grund af for høje temperaturer under loftet eller langs vinduerne. Den bedste fordelingen af varmen opnås i lavenergibyggeri ved store varmeblæserflader og tilførsel af varmen i den nedre del af rummet. Tidligere blev placeringen af varmegiverne også anvendt til at udligne evt. strålingsasymmetri og koldt nedfald fra vinduer. I lavenergibyggeri med de forbedrede U-værdier for vinduer og vægge er dette dog ikke mere nødvendigt. Unødvendig opvarmning d.v.s. ingen varmetilførsel når rum temperaturen er i komfortintervallet skal også undgås. Dette afhænger af samspillet mellem rum reguleringen og typen af varmegiver. Således en optimal udnyttelse af gratisvarmen fra solindfald, personer og udstyr i rummet opnås. Ved at øge varmeafgivelsen ved stråling (højere middelstrålingstemperatur) kan en tilsvarende lavere lufttemperatur holdes. Dette giver en forbedring i den oplevede luftkvalitet og en sænkning af varmetabet ved ventilation og infiltration. Effekten i lavenergi byggeri vil dog være forholdsvis lille på grund af det lave energitab og øgede temperaturer på vinduer og vægge. Endelig kan placeringen af varmegiveren forøge varmetabet ved transmission (rør i bygningsdele (loft, gulv, væg) mod udeluft og placeringen foran vinduer (radiatorer, varmluftindblæsning)

B. Energiforbrug til varmetransporten i fordelingssystemet

Energiforbruget skyldes dels el-forbrug til transport af varmen (pumper, ventilatorer) og tab til omgivelserne fra rør og kanaler. Det er her mindre energikrævende at transportere varmen med vand som medie end med luft. En lavere temperatur på varmetransportmediet (vand, luft) vil sænke tabet til omgivelserne; men kan resultere i transport af større vand el. luftmængder og dermed forhøjet el-forbrug til pumper og ventilatorer. Det er her vigtigt at udlægge fordelingssystemet således at store tryktab undgås. Central reguleringen af medietemperaturen

afhængig af udetemperatur og rumtemperatur har her stor indflydelse på tabet i fordelingsystemet. Det skal forsøges at holde en så lav medietemperatur som muligt.

C. Energiforbrug til varmeproduktionen

Energiforbruget til varmeproduktionen er meget afhængig af typen af varmekilde (kedel, fjernvarme, solvarme, CPH). Strategier for solvarme og fjernvarme behandles særskilt. For kedler og varmepumper kan det generelt siges at en lavere medietemperatur vil resultere i højere effektivitet (kondenserende kedler, COP-værdien). Med højere energipriser og ønsket om forsyningssikkerhed stiger interessen for anvendelse af naturlige (regenererbare) varmekilder som jordvarme, geotermi, aquifær, søer-havvand etc.

Systemløsninger

Opvarmning i lavenergibygninger sker typisk ved brug af el, luft eller vand som varmemedium. El-opvarmning sker ved hjælp af radiatorer eller gulv-loftvarme. Luftopvarmning kan ske ved forskellige kombinationer af til og fraluft koncepter. Vandbaseret opvarmning sker ved radiatorvarme, gulvvarme, loftvarme eller vægvarme.

I den følgende screening vil en SWOT-analyse af nogle af disse systemer blive præsenteret.

3.3.2.2 Screening (udviklings- og forskningsmuligheder)

SWOT-analyse af gulvvarmeanlæg

Styrker: Fungerer ved lave vandtemperaturer og er derfor velegnet i forbindelse med forsyning med vedvarende energi. Giver en god termisk komfort i bygningen. Fri udnyttelse af pladsen, ingen tabte kvadratmeter, støjsvagt, ingen rengøring på grund af støvsugning, sikkerhed.

Svagheder: Varmebehovet i lavenergibygninger påvirkes relativt mere af gratisvarmetilskud end traditionelle bygninger. Men på grund af den meget lille temperaturforskel mellem gulv/vand og rummet sker der en kraftig selvregulering, der kompenserer for den større masse i et traditionelt gulvvarmeanlæg. Ønskes det at styre systemet intermitterende (natsenkning, weekend senkning osv) eller ønskes der fra den ene time til den anden et andet temperaturniveau reagerer gulvvarme forholdsvis langsomt.

Muligheder: Kan med fordel også anvendes til køling (se særskilt strategi). Især i kontorbygninger kunne det være fordelagtigt med systemer til både opvarmning og køling og/eller intern omfordeling af varme samt til aktivering af den termiske masse således at denne bedre kunne udnyttes til udjævning af belastninger. Er særligt energieffektivt i høje rum (industrihaller, kirker, atrier, foyer, sportshaller, hangarer m.m)

Trusler: Varmeforbruget bliver så lille at gulvet ikke bliver komfortabelt varmt. Er under visse omstændigheder ikke fleksibelt overfor fremtidige ændringer i bygningens indretning. Varmetabet bliver så lille at det ikke kan svare sig at installere vandbåret varme, men direkte el-, eller luftopvarmning

SWOT-analyse af loftvarmeanlæg

Styrker: Fungerer ved lave vandtemperaturer og er derfor velegnet i forbindelse med forsyning med vedvarende energi. Fri udnyttelse af pladsen, ingen tabte kvadratmeter,

støjsvagt, ingen rengøring på grund af støvsamling, sikkerhed. Kan laves ved at integrere rør i loftoverfladen eller som nedhængte varmepaneller

Svagheder: Varmebehovet i lavenergibygninger påvirkes relativt mere af gratisvarmetilskud end traditionelle bygninger. Men på grund af den meget lille temperaturforskel mellem loft/vand og rummet sker der en kraftig selvregulering, der kompenserer for den lidt større masse. Ofte en uensartet temperaturfordeling med varme under loftet.

Muligheder: Kan med fordel også anvendes til køling (se særskilt strategi). Især i kontorbygninger kunne det være fordelagtigt med systemer til både opvarmning og køling og/eller intern omfordeling af varme samt til aktivering af den termiske masse således at denne bedre kunne udnyttes til udjævning af belastninger.

Trusler: Er under visse omstændigheder ikke fleksibelt overfor fremtidige ændringer i bygningens indretning. Varmetabet bliver så lille at det ikke kan svare sig at installere vandbåret varme, men direkte el-, eller luftopvarmning

SWOT-analyse af radiatoranlæg

Styrker: Kan fungere ved lave vandtemperaturer og er derfor velegnet i forbindelse ved forsyning med vedvarende energi.

Svagheder: Er placeret meget synligt i bygningens rum og med stor indflydelse på det arkitektoniske udtryk. Mindsker møbleringsmulighederne. Rengøring, sikkerhed ved kontakt

Muligheder: Kan placeres centralt i bygningen idet lavenergibygninger ikke kræver varmetilførsel langs facaden af hensyn til den termiske komfort. Dette vil billiggøre installationsomkostninger. Kan evt. ved store radiatorflader anvendes til køling

Trusler: Varmetabet bliver så lille at det ikke kan svare sig at installere vandbåret varme, men direkte el-, eller luftopvarmning.

SWOT-analyse af luftvarmesystemer

Styrker: Er hurtigt regulerende og resulterer derfor i en effektiv udnyttelse af gratisvarme. Er meget fleksibel i forbindelse med fremtidige ændringer i bygningens indretning.

Svagheder: Da luftens varmekapacitet er begrænset og luften ikke kan opvarmes til mere end 40-50 C af hensyn til den oplevede luftkvalitet er der meget begrænset ekstra kapacitet til hurtigt opvarmning eller i situationer med forøget varmebehov. Kræver også forholdsvis høj temperatur på varmeblæsen. Luftkvaliteten kan påvirkes af opvarmningen og der er risiko for kortslutning. Individuel rum regulering kan være et problem

Muligheder: Varme, ventilation og køling kan kombineres i et system og dermed billiggøre installationsomkostningerne væsentligt.

Trusler: Kræver omhyggelig projektering for at sikre god termisk komfort og luftkvalitet. Plads til kanalføring

SWOT-analyse af direkte el-opvarmning

Styrker: Er let at installere. Kræver intet fordelingssystem. Let og hurtigt at regulere

Svagheder: Anvender dyrebar energi form (med mindre el-produktionen sker ved CPH, vindkraft, vandkraft eller PV). Er placeret meget synligt i bygningens rum og med stor indflydelse på det arkitektoniske udtryk. Mindsker møbleringsmulighederne. Rengøring, sikkerhed ved kontakt. Ved el-varme integreret i loft eller gulv er sidstnævnte svagheder dog ikke til stede.

Muligheder: Kan udnytte el-produktionen ved CPH, vindkraft, vandkraft eller PV og dermed forsvinder mod argumentet omkring dyrebar energiform.

Trusler: El-varme er en dyrebar energiform (med mindre el-produktionen sker ved CPH, vindkraft, vandkraft eller PV).

SWOT-analyse af varmepumper (el, varme, gas)

Styrker: afprøvet teknologi. Høj energieffektivitet og det er en oplagt mulighed for at udnytte overløbs elproblematikken.

Svagheder: Der anvendes højkvalitets energi (især el) til driften af anlæggene. Relativ ukendt opvarmningsform i DK blandt forbrugere. Dyre (privatøkonomisk) installationer som kræver langsigtet planlægning.

Muligheder: Mange muligheder for at forøge effektiviteten. Stor samfundsøkonomisk værdi. Set i relation til det nye bygningsreglement en oplagt mulighed i forbindelse med lavenergibyggeri og som erstatning for oliefyret opvarmning i områder uden kollektiv varmforsyning. Forbedre anlæg og få højere effektivitet.

Trusler: Stor konkurrence fra kollektive varmforsyningssystemer. Bruger el, øger det samlede el-forbrug og spidsbelastninger

SWOT analyser af fjernvarme og solvarme - der henvises til kapitel 3.4.

3.3.2.3 Koblinger (sammenhænge mellem forskningen og byggeerhvervets teknologisk udfordringer)

Indenfor de nævnte områder ovenfor kan der i dag peges på en række koblinger mellem forskningen på universiteterne og de omtalte teknologiske udfordringer.

A. Energital (effektivitet) ved varmeoverførslen til rummet

- Gulvvarmefabrikaterne (UPONOR) udvikler meget lette gulvvarmesystemer, der også er egnede til renovering.
- Nye rum termostater baseret på wire-less (Danfoss, Uponor) gør det lettere at finde en bedre placering i rummet og dermed mere effektiv regulering. ICIEE har lavet en lille undersøgelse omkring føler type og placering
- I forbindelse med energidirektivet og de tilhørende CEN-normer er der på basis af simulations beregninger udført en del studier af regulerings effektiviteten af forskellige

kombinationer af varmegivere og regulerings koncept. Der er dog brug for en eftervisning af resultaterne.

- På ICIEE og BYG.DTU foregår der undersøgelser (eksperimentelt og simulering) af mulighederne for at udnytte TABS til opvarmning og køling

B. Energiforbrug til varmetransporten i fordelingssystemet

- Pumpefabrikanterne udvikler lavenergi pumper og pumpestrategier der minimerer energiforbruget (Grundfos, Smedegård)

C. Energiforbrug til varmeproduktionen

3.3.2.4 Behov og muligheder (byggeerhvervets behov og muligheder for forskning, teknologiudvikling og uddannelse)

I lavenergiboliger både en- og flerfamilier bygninger vil der være et væsentligt mindre behov for opvarmning og en større indflydelse af gratisvarme fra personer, aktiviteter og passiv solvarme. Det vil derfor være behov for udvikling af vandbåren varme med meget mindre dimensioner (rør, pumper, konvektorer) og med mindre termisk kapacitet således at anlægget hurtigt kan reagere overfor variationer i varmetilskud.

Med det reducerede behov for opvarmning bliver luftbåren varme et alternativ der kan reducere installationsomkostningerne til opvarmning. Her er der især behov undersøgelse af ventilationsstrategier der både sikrer en god luftkvalitet og en god termisk komfort i boligen, dvs. udvikling af nye indblæsningsåbninger og strategier for luftfordeling ved opvarmning i boliger.

Det kunne også være interessant at se på muligheder for kombinerede systemer med både vand- og luftbåren varme, idet disse hver især har deres fordele og ulemper.

I lavenergiboliger er den interne varmetransport meget større end varmetransporten gennem klimaskærmen. Det betyder at det er vanskeligt at opretholde forskelle i temperaturniveau i boligen. Der er derfor behov for at undersøge om individuel temperaturregulering i boliger er vigtig og i givet fald, hvordan det kan etableres og hvad der kræver af opvarmningssystemet.

I kontorer, skoler, m.m. vil der sjældent være behov for opvarmning i brugstiden. Her kunne det være interessant at udvikle systemer, der kan absorbere varmeoverskuddet i brugstiden og afgive det udenfor brugstiden ved at aktivere bygningens termiske masse bedre. Sådanne systemer kunne også anvendes i sommerperioden til passiv køling af bygningen eller til intern omfordeling af varme mellem syd- og nordvendte bygningszoner.

3.3.3 Køling

3.3.3.1 Beskrivelse af delområde

Køling af lavenergibygninger, boliger såvel som kontorer, har til formål at sørge for en komfortabel temperatur og temperaturfordeling indendørs om sommeren og under store interne varmelastninger. Det forventes at kravet om køling vil stige i de kommende år.

Dette skyldes folks højere komfortkrav (air-conditioning i biler, øget salg af split-units), fremtidig højere ude temperaturer på grund af global warming, problemet med "heat-islands" i byer. Et kølesystem består af aggregater til fjernelse af varmen i rummet (luft eller vandbåret), energi transport systemet (pumper, ventilatorer, luftkanaler, rør net), køleaggregat (kølemaskine, evaporativ-køling, varmeveksler, varmepumpe, jordslanger, borer, grundvand, aquifer etc.)

Fra et energisynspunkt er det vigtigt at begrænse kølebehovet ved at begrænse belastningen fra ude klimaet (sol afskærmning, isolering, vindues størrelse og retning, etc.). Desuden skal de interne varmelaster fra Pc'er, lys og andet udstyr begrænses mest mulig ved at anvende lavt forbrugende aggregater, energipærer, etc.

Kølesystemets energi effektivitet er afhængig af hvor effektivt varmen fjernes fra rummet, energiforbrug til transport af varmen, samt effektiviteten af køleaggregatet.. Beskrivelse af delområdet, dvs. relation mellem køleanlæg og energiforbrug opdeles derfor i følgende punkter:

- A. Effektiviteten af rum kølingen
- B. Energiforbrug til transporten af varme fra rummet til "køleaggregat"
- C. Energiforbrug til køling

Her følger en kort beskrivelse af hvert af disse 3 områder:

A. Effektiviteten af rum kølingen

Hvor effektivt varmen fjernes fra rummet (rum konditionering) afhænger af typen af luftsystem og typen af vandbåret system.

Med hensyn til luftsystemet henvises til strategien for ventilation. Ved luftkøling skal der dog som regel bruges mere luft end der er nødvendigt for at tilfredsstillende kravene til en acceptabel luftkvalitet. En del af denne luftmængde kan dog være fra recirkulation eller afhængig af rum- og ude temperaturen en øget ude luftmængde (se strategi for ventilation).

Ved vandbårne systemer er der tale om rør integrerede i bygningsdele som gulv, væg eller loft, nedhængte kølelofter eller kølebafler. Med undtagelse af kølebafler sker den største køling ved strålingsudveksling mellem de kølede flader og rummets overflader og med personerne. Det mest effektive er som regel at bruge loftsfladen, da her varmeovergangstallet er størst. Dog er gulvkøling mere effektiv i rum hvor der er direkte eller indirekte solstråling på gulvet (atrier, foyer, lufthavne mm). Energieffektiviteten øges ved at bruge så store overflader som muligt. Det medfører en lavere medietemperatur (vand) og dermed øget effektivitet af køleaggregaterne.

Kølebafler bruger også vand til at transportere varmen fra rummet til køleaggregatet. Kølingen af rummet forgår ved kombineret stråling og konvektion (nedfald el. indblæsning af kold luft).

Reguleringen spiller for vandbårne systemer en betydende rolle for at sikre at der ikke dannes kondensation på de kølede overflader eller rør.

B. Energiforbrug til transporten af varme fra rummet til ”køleaggregat”

Energiforbruget til transport af varmen fra rummet til kølemaskinen sker med luft eller med vand som varmbærende medium. Vand er den mest energirigtige måde at transportere varme. Der skal bruges mindre el-energi til at drive cirkulationspumperne end tilsvarende at drive ventilatorer. Desuden er dimensionerne af rørene med vand som medie betydelig mindre end for luft kanaler. Under energitransporten vil vandet eller luften blive opvarmet af omgivelser og dermed mindske kølekapaciteten. Det er derfor en energifordel i at anvende medie temperaturer tæt på omgivelsernes temperatur eller isolere fordelingsnettet. Her er det vigtigt at tage højde for risikoen for kondensation på og i fordelingsnettet.

C. Energiforbrug til køling

Energiforbruget til køleaggregatet afhænger af typen af køling og medietemperaturen. Jo lavere medie temperatur desto højere energieffektivitet af køleaggregaterne (kølemaskine, varmedreven køling, evaporativ-køling, varmeveksler, varmepumpe) og bedre muligheder for at udnytte regenererbare køle koncepter (jordslanger, borer, havvand, grundvand, aquifer etc.).

Systemløsninger

Køling i lavenergibygninger skal ved bygningsdesign forsøges begrænset mest muligt. Valg af system og fordele og ulemper afhænger meget af de forskellige former for lavenergihuse: parcelhuse, kontorer, hoteller, skoler, institutioner, industri, lufthavne, mm. Også koblingen til andre systemer (varmeanlæg, ventilationsanlæg) skal optimeres. Som eksempel kan anvendelse af kondensatorvarme til rum og/eller vandopvarmning forbedre den samlede energieffektivitet.

Fjernelse af varmen fra rummet (rum-konditionering) kan ske ved:

Vandbårne systemer:

- Kølebafler (aktive og passive)
- Nedhængte kølelofter
- Indbyggede rør i gulv, vægge og loft.
- TABS (termoaktive bygningsdele)
- Passive køling

Luftbårne systemer:

- Opblandet ventilation
- Fortrængningsventilation
- Posekøling

Fjernelse af varmen fra bygningen kan ske ved f.eks.:

- Varmpumper/kompressorkøling
- Varmedrevet køling (Ad- og Absorptionskøling)

Evaporativ køling
Udeluft
Jordvarmeveksler

I den følgende screening vil in SWOT-analyse af nogle af disse systemer blive præsenteret. For luftbårne systemer henvises også til strategi for ventilations anlæg

3.3.3.2 Screening (udviklings- og forskningsmuligheder)

SWOT-analyse af kølebafler

Styrker: Er hurtigt regulerende og resulterer derfor i en effektiv fjernelse af overskudsvarmen. Er fleksibel i forbindelse med fremtidige ændringer i bygningens indretning. Ingen behov for store luftkanaler. Lysarmaturer kan indbygges. Støjsvagt. Kan kombineres med frisklufttilførsel.

Svagheder: Kan medføre træk ved for store kølebehov. Kræver et nedhængt loft (tabt rum højde). Der skal tages højde fro kondensation enten ved et anlæg til affugtning eller ved regulering af vandtemperaturen efter dugpunktet i rummet.

Muligheder: Varme, ventilation og køling kan kombineres i et system og dermed billiggøre installationsomkostningerne væsentligt. Kan indsættes i de fleste typer af rum.

Trusler: Kræver omhyggelig projektering for at sikre god termisk komfort uden træk.

SWOT-analyse af loftkøling med nedhængte loft paneler

Styrker: Anvender store flader til køling og dermed lave medietemperaturer. Den største varmetransport er ved stråling så træk fra luftbevægelser undgås. Kan sammenbygges med akustik og lysarmaturer.

Svagheder: Kræver et nedhængt loft, tabt rum højde. Kølekapacitet afhængig af dugpunkt. Ikke fleksibelt ved rum ændringer. Høj pris,

Muligheder: Kan anvendes i alle typer af rum. I lavenergibyggeri er det muligt at anvende dette system også til opvarmning.

Trusler: Kondensrisiko i områder med høj fugtighed og naturlig ventilation.

SWOT-analyse af køling med indbyggede rør(gulv-loft-væg)

Styrker: Anvender store flader til køling og dermed lave medietemperaturer. Den største varmetransport er ved stråling så træk fra luftbevægelser undgås. Ingen støj, ingen rengøring. Kan anvendes både til opvarmning og køling i lavenergi byggeri. Vand som energibærende medium.

Svagheder: Begrænset kølekapacitet. Kølekapacitet afhængig af dugpunkt.

Muligheder: Kan anvendes i alle typer af rum. Kan flytte varme fra et rum til et andet. Gulvkøling især egnet i atrier, foyer med store glasparter og solstråling direkte på gulvet. Kan forskyde kølebehovet fra dag til nat timerne.

Trusler: Kondensrisiko i områder med høj fugtighed og naturlig ventilation.

SWOT-analyse af TABS

Styrker: Anvender store flader til køling og dermed lave medietemperaturer. Den største varmetransport er ved stråling så træk fra luftbevægelser undgås. Ingen støj, ingen rengøring. Kan anvendes både til opvarmning og køling i lavenergi byggeri. Vand som energibærende medium. Kan præfabrikeres. Optager ingen plads

Svagheder: Begrænset kølekapacitet. Kølekapacitet afhængig af dugpunkt. Ingen individuel rum regulering. Nødvendig med særlige akustiske løsninger.

Muligheder: Kan anvendes i alle typer af rum. Kan flytte varme fra et rum til et andet.

Trusler: Kondensrisiko i områder med høj fugtighed og naturlig ventilation. Kræver omhyggelig design af bygning og system.

SWOT-analyse af luftkøling

Styrker: Kan anvendes til ventilation, opvarmning og køling. Dækker et stort område for kølekapacitet. Bruger luft som energimedium, hvad der er energikrævende (ventilatorer).

Svagheder: Kræver som regel et nedhængt loft og dermed øget byggehøjde. Risiko for træk ved for høje luft hastigheder og lave tilluft temperaturer. Kræver filtre og rengøring

Muligheder: Kan bruges i alle typer af bygninger

Trusler: Stor generel utilfredshed med luftkonditionering på grund af støj og træk

SWOT-analyse af varmedrevet køling

Styrker: Forventning om stigende kølebehov i bygninger. Fortsat stigning i mængden af overskudsvarme i sommermånedene, bl.a. problemer med afbrænding af affald om sommeren

Svagheder: Lavere effektivitet og større anlæg end ved mekanisk køling. I dag dårlig økonomi. Lille kendskab til teknologien.

Muligheder: Nye kølemetoder. Køling og opvarmning med samme anlæg. Erstatte om vinteren med fri-køling, evt kombineres med lagring i jorden

Trusler: Højeffektive mekaniske køleanlæg.

SWOT-analyse af mekanisk køling (kompressor)

Styrker: Velkendt og afprøvet teknologi. Effektivt og høj grad af fleksibilitet.

Svagheder: Der anvendes højkvalitets energi (især el) til driften af anlæggene. Mange anlæg af ringe kvalitet, som medfører højt elforbrug.

Muligheder: Mange muligheder for at forøge effektiviteten.

Trusler: Bedre designede huse uden kølebehov. Varmedrevet køling.

3.3.3.3 Koblinger (sammenhænge mellem forskningen og byggeerhvervets teknologisk udfordringer)

Indenfor de nævnte områder ovenfor kan der i dag peges på en række koblinger mellem forskningen på universiteterne og de omtalte teknologiske udfordringer.

A. Fjernelse af overskudsvarme fra rummet

- Aalborg Universitet arbejder i forbindelse med et internationalt projekt i IEA regi med projekter, der omhandler bedre integration af ventilationssystem og bygningsselementer med det formål at optimere passiv køling, nat køling af bygninger, forvarmning af ventilationsluft, m.m. I dette projekt i går også muligheder for anvendelse af nye materialer (phase change materials) til at forbedre mulighederne for høj termisk masse også i lette konstruktioner.
- COWI, ICIEE og BYG.DTU samt SPÆNCOM er i gang med undersøgelser (eksperimentelt og simulering) af mulighederne for at udnytte TABS til opvarmning og køling). Det udmøntes bl.a. i et demonstrationsprojekt i en ny bygning på Fyn.
- BYG.DTU, SBI, ICIEE og COWI har et projekt til udvikling af et beregningsmodul til BSIM for integrerede vandbårne kølesystemer.

B. Energiforbrug til varmetransporten i fordelingssystemet

Pumpefabrikanterne udvikler lavenergi pumper (Grundfos, Smedegård)
Se Ventilation omkring lavenergi ventilatorer

C. Energiforbrug til køling

COWI mfl. i forbindelse med EU projekter og Nordisk energiforskning arbejder med grundvandskøling og energilagring i jord samt havvandskøling og varmedreven køling

En række centre med viden om luftkonditionering, ventilation og køling i "Byggeri", "Industri og Energi" ved Teknologisk Institut (selvfølgelig især Center for Køle- og Varmepumpeteknik), men også lignende afdelinger på DTU, AUC, m.fl. har kørt en lang række projekter inden for energioptimal A/C. Der er derfor en masse viden på disse områder.

3.3.3.4 Behov og muligheder (byggeerhvervets behov og muligheder for forskning, teknologiudvikling og uddannelse)

Det kunne også være interessant at se på muligheder for kombinerede systemer med både vand- og luftbåren køling, idet disse hver især har deres fordele og ulemper.

I kontorer, skoler, m.m. vil der sjældent være behov for opvarmning i brugstiden. Her kunne det være interessant at udvikle systemer, der kan absorbere varmeoverskuddet i brugstiden og afgive det udenfor brugstiden ved at aktivere bygningens termiske masse bedre. Sådanne systemer kunne også anvendes i sommerperioden til passiv køling af bygningen eller til intern

omfordeling af varme mellem syd- og nordvendte bygningszoner.

3.3.4 Ventilationsanlæg

3.3.4.1 Beskrivelse af delområde

Ventilationsanlæg har til formål at tilføre frisk luft til bygningen og med luften fjerne forureninger. Ventilationsanlæg kan også have til formål at fjerne overskudsvarme fra bygningen eller at opvarme bygningen. Disse funktioner giver anledning til energiforbrug i forbindelse med luftens transport, opvarmning af luften og/eller køling (fjernelse af overskudsvarme). Energiforbruget er imidlertid også i høj grad afhængig af ventilationsanlæggets effektivitet, dvs. evne til at levere ovenstående funktioner i forhold til den transporterede luftmængde. Beskrivelse af delområdet, dvs. relation mellem ventilationsanlæg og energiforbrug opdeles derfor i følgende punkter:

- a. Energiforbrug til lufttransport
- b. Energiforbrug til opvarmning af ventilationsluften
- c. Energiforbrug til fjernelse af overskudsvarme
- d. Ventilationsanlæggets effektivitet

Her følger en kort beskrivelse af hvert af disse 4 områder:

- a. Energiforbrug til lufttransport:

Energiforbruget til lufttransport afhænger af tryktabet til transport af luften gennem bygningen samt gennem ventilationsanlæggets indgående komponenter (varme/køleflade, varmeveksler, filter, indtagsspjæld, afkastspjæld, m.m.). Det afhænger desuden af de anvendte ventilators effektivitet. Her tænkes der på den samlede ventilatorenhed bestående af selve ventilatoren, el-motoren og normalt en tilhørende elektronisk hastighedsregulering.

Tryktabet til transport af luften gennem bygningen afhænger af luftens hastighed, der kan reduceres væsentligt ved i stedet for kanaler at bruge bygningens rum. Tryktabet i komponenterne afhænger af deres størrelse og strømningstekniske udformning.

Er det samlede tryktab meget lille (mindre end 10-30 Pa) kan naturlige drivkræfter (vind og termik) benyttes og ventilatoren kan undværes, hvorved der intet energiforbrug vil være til transport af luften. Er det samlede tryktab lille (mindre end 100 Pa) anvendes ofte en aksialventilator (lav trykdydelse/stor luftmængde) evt. som supplement til de naturlige drivkræfter. I dette tilfælde vil energiforbruget være forholdsvis begrænset og især afhænge af ventilatorens ofte relativt lave effektivitet. Ved større tryktab benyttes oftest en centrifugalventilator og energiforbruget vil være betydeligt.

- b. Energiforbrug til opvarmning af ventilationsluften:

I det danske klima er der i den største del af året behov for opvarmning af ventilationsluften, da der ellers vil opstå trækgener. Er der et varmeunderskud i bygningen (typisk i boliger og andre bygninger med lav intern belastning) bør opvarmningen så vidt muligt ske ved hjælp af varmegenvinding, således at det direkte energiforbrug minimeres til kun at omfatte det forøgede energiforbrug til overvindelse af tryktabet ved varmegenvinding. I den forbindelse er en høj varmegenvindingsgrad nødvendig. Denne resulterer til gengæld i højt tryktab og dermed højere energiforbrug til transport af luft og

det skal derfor sikres også i overgangsperioden, at varmegenvindingen bidrager positivt til energi- og økonomiregnskabet,

Der er i dag en lang række former for varmegenvinding på markedet, hvor de mest kendte er (nævnt med lavest virkningsgrad først): Heat-pipes, Væskeskoblede vekslere, Krydsveksler, Roterende vekslere, Modstrømsveksler.

Er der et varmeoverskud i bygningen bør der anvendes alternative muligheder for forvarmning af udeluften således at varmeoverskuddet i bygningen samtidigt reduceres. Disse omfatter blandt andet forvarmning i kanaler i bygnings-konstruktionen, opblanding med rumluft, indblæsning gennem plenum, m.m. Disse teknologier er tillige meget velegnede i forbindelse med anvendelse af naturlig/hybrid ventilation.

c. Energiforbrug til fjernelse af overskudsvarme

I mange bygninger (typisk i kontorer og tilsvarende bygninger med stor intern og til dels ekstern belastning) er der i dag et varmeoverskud hele året, hvorfor det er nødvendigt at køle bygningen hele året.

I den største del af året vil udeluftens temperatur være tilstrækkelig lav til at opfylde bygningens kølebehov. I denne situation er den største udfordring at tilføre luften ved så lav en temperatur som muligt (opvarme luften som nævnt ovenfor) og samtidig undgå træk. Der vil sædvanligvis ikke være energiforbrug til opvarmning og køling i denne situation, men ofte et forøget energiforbrug til transport af luft. Dette afhænger af, hvor lav temperatur luften kan tilføres ved, og hvor meget luftmængden evt. må øges for at opfylde kølebehovet.

I sommerperioden kan udeluftens temperatur i dagtimerne være for høj til naturlig køling. Ved lave kølebehov vil der kun være tale om en kortere periode i løbet af dagen, som kan udjævnnes/absorberes af bygningens termiske masse under forudsætning af, at energien fjernes igen ved nattekøling. Om nødvendigt kan den termiske masse øges ved etablering af indtagskanaler i kældere eller i jord.

Er der tale om større kølebehov vil det være nødvendigt med mekanisk køling (evt. som supplement) af udeluften, se særskilt afsnit.

d. Ventilationsanlæggets effektivitet

Ventilationsanlæggets effektivitet, dvs. evne til at levere ventilationsbehovet (og evt. et kølebehov) i forhold til den transporterede luftmængde, har stor betydning for energiforbruget.

Ventilationsanlæggets effektivitet afhænger primært af det valgte luftfordelingsprincip. Her skelnes som regel mellem opblandingsprincippet og fortrængningsprincippet. Ved opblandingsprincippet tilstræbes fuldstændig opblanding af den indblæste luft i rummet og ensartede forhold i hele rummet. Ved fortrængningsprincippet tilføres den indblæste luft i opholdszonen og fortrænger den forurenede og varme luft mod loftet. I de situationer, hvor fortrængningsprincippet er velegnet, kan der opnås betydeligt større effektivitet (faktor 2-3) både med hensyn til tilførsel af frisk luft og fjernelse af forureninger og overskudsvarme end ved opblandingsprincippet. For at opnå samme kvalitet kan luftmængden og dermed energiforbruget således reduceres tilsvarende.

Til mere effektiv tilførsel af friskluft direkte til den enkelte person kan det nye princip Personlig Ventilation (PV) anvendes. Det består af et lille indblæsningsarmatur ved den enkelte kontorarbejdsplads. Den enkelte medarbejder kan selv bestemme luftvolumen. Der er dokumentation for bedre luftkvalitet, men endnu ikke dokumentation for potentialet mht. energibesparelser.

Tilsvarende til mere effektiv fjernelse af varme eller forureninger udnyttes punktudsugning ved koncentrerede varme- og/eller forureningskilder, hvorved den nødvendige ventilationsmængde til rummet kan reduceres betydeligt. I den forbindelse er køkkenemhætter et meget centralt område, hvor der er store muligheder for optimering af funktion og reduktion af energiforbrug.

Til forbedring af et ventilationsanlægs effektivitet hører også tilpasning af ventilationsluftmængden til det øjeblikkelige behov, dvs. behovsstyret ventilation. Behovsstyringen kan enten styres af temperatur- eller luftkvalitetsmål eller mere simpelt af tilstedeværelse eller tidsstyring.

3.3.4.2 Screening (udviklings- og forskningsmuligheder)

Balanceret mekanisk ventilation

Styrker: Med effektiv varmegenvinding er energibehovet til opvarmning af ventilationsluft meget begrænset. Giver mulighed for god kontrol med luftkvaliteten idet mængde og fordeling af udeluft i bygningen kan reguleres i forhold til behovet indenfor snævre grænser og effektiv filtrering kan etableres.

Svagheder: Centrale ventilationsløsninger er problematiske pga. brugernes individuelle behov, præferencer og støjfølsomhed. Er ikke velegnet til udluftning og natkøling, da dette kræver et unødvendigt energiforbrug til transport af luft. Har også el-forbrug til transport af luft i sommerperioden, hvor der ikke er behov for opvarmning/køling af udeluften.

Muligheder: En nødvendighed i alle lavenergibygninger for at opnå et acceptabelt energiforbrug til opvarmning af ventilationsluft i vinterperioden.

Trusler: Elforbruget til transport af luft er forholdsvis højt. Kræver forholdsvis meget plads til fordelingskanaler og teknikrum i bygningen.

Naturlig/hybrid ventilation

Styrker: Behøver intet eller kun et meget lille forbrug af el til transport af luft. Er derfor meget velegnet til udluftning/ventilation i sommerperioden og især natkøling af bygninger med udeluft.

Svagheder: Det er vanskeligt at etablere filtrering og en effektiv varmegenvinding, hvorfor energiforbruget til opvarmning af ventilationsluft er forholdsvis højt. Stiller krav til udformning af bygning og facader.

Muligheder: Lavenergihuse vil få et større kølebehov i sommerperioden, hvorfor udluftning og natkøling vil blive nødvendig i både boliger og kontorbygninger.

Trusler: Ekstra investeringer i facadeåbninger og styresystemer er nødvendigt.

Teknologiudviklings- og forskningsmuligheder

Opdeles teknologiudviklings- og forskningsmuligheder på de 4 hovedområder fremkommer følgende på baggrund af ovennævnte SWOT analyse:

a. Energiforbrug til lufttransport:

- Minimering af tryktabet i ventilationsanlægget og det tilhørende kanalsystem. Her er der et potentiale i at sikre optimal opbygning af selve anlægget, hvilket peger på god (efter)uddannelse af de projekterende og udførende i branchen. Men der er også behov for strømningsteknisk nyudvikling af de indgående komponenter, således at der ikke tilføres unødvendige tryktab i systemet. Desuden er der behov for analyse af om bygningens rum i højere grad kan udnyttes i forbindelse med transport af luften i bygningen, således at den kanalførte lufttransport kan minimeres. Der bør også udvikles hybride ventilationsløsninger, der ved udnyttelse af de naturlige drivkræfter reducerer energiforbruget til transport af luft. Potentialet er her størst i sommerperioden og ved nattekøling.
- Optimering af virkningsgraden for den anvendte ventilator. Her sker der fortsat landvindinger, der ofte er knyttet sammen med reduktion af lydniveau – en anden meget vigtig parameter i et ventilationsanlæg. Forskning i forbedring af de analytiske metoder til fastlæggelse af ventilatorens geometri kan her anbefales, og det vil sandsynligvis være nyttigt at bruge internationale videntcentre i dette arbejde. Der er også behov for at se nærmere på udvikling af aksialventilatorer som anvendes i lavtryks- og hybride ventilationsanlæg.
- Optimering af motorens virkningsgrad: Her giver de nyeste motortyper (f.eks. EC-motorer) gode muligheder for energibesparelser, og her sker der til stadighed en forbedring af pris/ydelsesforholdet. Også et område, hvor international kontakt kan være nyttig.
- Optimering af virkningsgraden i den elektroniske regulering af motorens omdrejningstal: Udviklingen på dette område er meget tæt knyttet til den omtalte

udvikling af motorer – ofte kan disse to områder ikke adskilles (f.eks. igen EC-motorer). Dog er der de seneste år sket et kraftigt skred i pris/ydelsesforholdet for frekvensomformere, således at disse nu er attraktive for selv ret små effekter.

b. Energiforbrug til opvarmning af ventilationsluften:

Danmark har en række producenter, der traditionelt har stået stærkt på markedet for varmegenvinding. Den mest fremherskende teknologi har været krydsveksleren, der pga. strammere energilovgivning nu er under stærkt pres, og det må derfor forventes, at denne teknologi med en 10-årig horisont vil være stort set ude af markedet. Det er derfor vigtigt, at der forskes i videreudvikling af de andre omtalte teknologier, da de som nævnt har hver deres fordele og ulemper, hvor der med fordel kan forskes i løsninger, der kan være til gavn for såvel energiforbrug som indeklima. Her skal blot nævnes et par eksempler:

- Roterende vekslere:

Denne type varmegenvinding tilbyder høj virkningsgrad, men der er samtidigt den ulempe, at en vis del brugt luft opblandes med den friske ventilationsluft. Ved brug til boligventilation er det derfor nødvendigt, at der anvendes filtre med aktivt kul for at fjerne lugt, da lugtoverførsel mellem naboer er meget generende, og kan give anledning til beboerklager.

De nuværende filtre er dyre, kræver løbende vedligehold, giver tryktab (= energiforbrug) og er pladskrævende. Desuden skal en række forskrifter mht. projektering og indregulering følges nøje, for at disse filtre kan fungere optimalt.

- Modstrømsvekslere:

Denne type varmegenvinding tilbyder meget høj virkningsgrad – men desværre fryser selve veksleren meget let, når udetemperaturen kommer under frysepunktet.

Konsekvensen er, at der ikke kan passere luft – altså ingen ventilation. For at undgå problemer med frost kan friskluftindtag stoppes i 10% af tiden, så udsugningen kan affroste aggregatet, når udetemperaturen er under -2°C . Frostproblemet kan også løses ved at forvarme friskluft i jordkanaler, som det ofte gøres i Tyskland.

Blot to eksempler på områder, hvor der er behov for nye løsninger. Det er vigtigt, at der ved fremtidig forskning indenfor varmegenvinding ses på både energi og indeklima, da de stadigt strammere krav til energiforbruget i bygninger let resulterer i negative konsekvenser for indeklimaet – f.eks. i kraft af kravene til mere tætte bygninger.

Det er også vigtigt at behovet for varmegenvinding ses i forhold til forøgelsen af energiforbruget til transport af luft. Dette er især af betydning i begyndelsen og afslutningen af opvarmningsperioden og for bygninger med overskudsvarme, hvor en høj varmegenvindingsgrad ikke nødvendigvis er at foretrække.

I bygninger med overskudsvarme, er der ofte ikke behov for varmegenvinding men alene forvarmning af udeluften for at undgå træk. Der er således behov for teknologier, der kan overføre overskudsvarmen i bygningen til forvarmning af udeluften. Denne type teknologier er især velegnede i forbindelse med naturlige/hybride ventilationssystemer og findes i øjeblikket kun på forsøgs- og demonstrationsstadiet, og der er et stort behov for forbedring og videreudvikling.

c. Energiforbrug til fjernelse af overskudsvarme

For langt de fleste bygninger i Danmark er problemet med overskudvarme begrænset til en periode i dagtimerne (specielt om eftermiddagen). Energiforbruget i forbindelse med fjernelse af overskudvarme er derfor primært til transport af luft (til omfordeling af varme mellem nat og dag) og de største udviklingsmuligheder ligger derfor i at kunne reducere luftmængden og tryktabet i systemet. Dette vedrører blandt andet forskning i, hvordan ventilationssystemet (dette gælder især for naturlige/hybride ventilationssystemer) i højere grad integreres med bygningens tunge konstruktioner, således at luften kan tilføres bygningen ved meget lave temperaturer uden at resultere i trækgener, at luften kan udnyttes kontrolleret til effektiv afkøling af bygningskonstruktionen og/eller at udeluften kan forvarmes i bygningskonstruktionen inden den tilføres opholdszonen i bygningen. Der kan yderligere være behov at udvikle meget billige nattekølesystemer, der kan transportere store luftmængder gennem bygningen om natten med lavt energiforbrug til ventilatorer. Systemerne skal desuden i sagens natur være sikret mod indbrudstýve.

Udviklingsmuligheder for mekanisk køling behandles i et tidligere afsnit.

- **Ventilationsanlæggets effektivitet**
I mange situationer kan en optimeret luftfordeling i bygningen reducere den nødvendige luftmængde betydeligt. Anvendes samtidig behovsstyring af ventilationen kan der opnås store besparelser på energiforbruget. Der er behov for udvikling af velegnede luftfordelingsprincipper for behovsstyret ventilation med optimal placering af indblæsning og udsugning. Luftfordelingsprincipperne bør ikke begrænses til det enkelte rum, men undersøges for hele bygningen idet mulighederne for transport af luft i mellem bygningens rum må vurderes samtidig.

Der er ligeledes et stort behov for brugervenlige og robuste systemer til behovsstyring. Dette gælder både med hensyn til styring og regulering af ventilationssystemet som ventilationssystemets opbygning og funktion. Det er væsentligt, at brugerne kan forstå systemet og oplever umiddelbar respons i forbindelse med interaktion. Ventilationssystemet bør også være robust (til en vis grad selvregulerende) således at uheldsmæssig brug ikke kan resultere i dårligt indeklima eller meget højt energiforbrug.

På nuværende tidspunkt er Personlig Ventilation kun undersøgt i klimakamre – der er kun ganske få kommercielt tilgængelige produkter. Energibesparelspotentialer er ikke dokumenteret på nuværende tidspunkt – men teorien er, at der i kraft af PV kan sikres tilfredsstillende indeklima med højere omgivelsestemperatur i kontorerne om sommeren – altså et reduceret behov for køling.

3.3.4.3 Koblinger mellem forskning/udvikling på universiteter/institutter og de teknologiske udfordringer

Indenfor de nævnte områder ovenfor kan der i dag peges på en række koblinger mellem forskningen på universiteterne og de omtalte teknologiske udfordringer:

- a. **Energiforbrug til lufttransport:**
For hvert område kan der nævnes eksempler på kendte forskningsprojekter:
 - **Minimering af tryktabet i ventilations anlægget og de indgående komponenter:**
Teknologisk Institut har undersøgt området ”systemtryktab”, og man tilbyder i dag en række kurser indenfor området.

- Optimering af virkningsgraden for den anvendte ventilator: Danske producenter har for egne midler udviklet nye ventilatorgeometrier med forbedrede egenskaber – men udviklingen er i høj grad sket ved hjælp af eksperimentelle metoder. Forskning i analytiske metoder til optimering af virkningsgrad og lydniveau vil være til gavn for dette område. Teknologisk Institut har på dette område optimeret små og mindre aksialventilatorer ved brug af empiriske metoder og brug af CFD analyser.
- Optimering af motorens virkningsgrad og optimering af virkningsgraden i den elektroniske regulering af motorens omdrejningstal: Som nævnt tidligere er ”motorer” og ”elektronisk regulering” stærkt knyttet til hinanden, og derfor bør disse områder i forskningsmæssig sammenhæng ses under et. Aalborg Universitet har en stærk forskningsgruppe på dette område

b. Energiforbrug til opvarmning af ventilationsluften:

På dette område kan der nævnes et par projekter, der enten er i gang eller er ved at blive planlagt:

- Roterende vekslere:
SINTEF/Norge er ved at planlægge en større undersøgelse af roterende vekslere i forbindelse med boligventilation. En række skandinaviske producenter er inviteret, og der er også mulighed for, at SBI bliver deltager. Tidsplan er på nuværende tidspunkt ukendt.
- Modstrømsvekslere:
Teknologisk Institut har i samarbejde med EcoVent ApS udviklet en modstrømsveksler i aluminium med en målt virkningsgrad på omkring 85%. EcoVent arbejder videre med at udvikle produktionsapparatet til fremstilling af veksleren. BYG*DTU har i samarbejde med EXHAUSTO A/S udviklet et prototypeaggregat med modstrømsvekslere målrettet til arktisk klima. Aggregatet har to modstrømsvekslere, der vekselvis er ”1-er” og ”2-er” for at modvirke tilisning. Aggregatet er installeret i et lavenergihus i Sisimiut/Grønland, hvor der bl.a. skal opsamles energidata og viden om den mest optimale styringsstrategi.

Aalborg Universitet har arbejdet på et par projekter med relation til forvarmning af ventilationsluft i bygningsmæssige kanaler og i samarbejde med virksomheder med forsøg med opblanding med rumluft eller tilførsel af udeluft med meget lav temperatur. Desværre er der p.t. stor modvilje mod at bruge denne løsning i Danmark blandt andet pga. bekymring for luftens renhed efter transport i lange underjordiske kanaler.

c. Energiforbrug til fjernelse af overskudsvarme

Aalborg Universitet arbejder i forbindelse med et internationalt projekt i IEA regi med projekter, der omhandler bedre integration af ventilationssystem og bygningselementer med det formål at optimere passiv køling, natkøling af bygninger, forvarmning af ventilationsluft, m.m. I dette projekt går også muligheder for anvendelse af nye materialer (phase change materials) til at forbedre mulighederne for høj termisk masse også i lette konstruktioner.

d. Ventilationsanlæggets effektivitet

Aalborg Universitet har gennem en årrække gennemført en række forsøg med forskellige luftfordelingsprincipper i samarbejde med flere virksomheder. Dette arbejde har vist et

potentiale for forbedring samt illustreret problemstillinger, der skal løses – også i forbindelse med behovsstyring.

For at undersøge potentialet for energibesparelser ved brug af Personlig Ventilation, er der netop søgt om EFP-midler til et pilotprojekt med deltagelse af ICIEE, COWI, en mulig producent samt en bygningsejer med store indeklimaproblemer. Projektet skal løbe over 2007 og 2008.

Behovsstyret ventilation (eller Demand Controlled Ventilation – DCV) ved brug af intelligente komponenter har været undersøgt i bl.a. projekt hos Teknologisk Institut. Anvendelse af behovsstyret ventilation i boliger, børneinstitutioner og kontorer har været undersøgt i forskellige projekter af SBI og AAU.

3.3.4.4 Behov og muligheder (byggeerhvervets behov og muligheder for forskning, teknologiudvikling og uddannelse)

Byggebranchens behov for forskning, teknologiudvikling og uddannelse er blevet stærkt forøget i kraft af de skærpede krav til bygningers energiforbrug (EU's EPBD direktiv). Branchen har således fået sat i udsigt, at kravet til energiforbrug vil blive strammet med 25% hvert 5-10 år – en skærpelse, der vil stille store krav til nytænkning indenfor de omtalte områder.

For hvert af de nævnte 4 områder skal behov for forskning og udvikling her kort resumeres:

- a. Energiforbrug til lufttransport:
 - Reduktion af tryktab: Efteruddannelses aktiviteter samt forskning i bedre strømnings teknisk udformning af komponenter.
 - Bedre ventilatorer: Analytiske metoder til fastlæggelse af geometri og øget brug af CFD i produktudviklingen.
 - Motorer og tilhørende reguleringer: Internationalt samarbejde omkring forbedring af virkningsgrad for det samlede system.
 - Udvikling af hybrid ventilationsløsninger, der udnytter naturlige drivkræfter og bygningens rum som transportvej for ventilationsluften
- b. Energiforbrug til opvarmning af ventilationsluften:
 - Forskning i optimering af energiforbrug og indeklima ved forskellige former for varmegenvinding. De forskellige teknologiske barrierer skal nedbrydes.
 - Forskning i udnyttelse af bygningens overskudsvarme til forvarmning af ventilationsluften
- c. Energiforbrug til fjernelse af overskudsvarme:
 - Forskning i tilførsel af luft ved meget lav temperatur
 - Forskning i mere effektiv natkøling af bygninger
 - Forskning i kontrolleret effektiv afkøling af bygningskonstruktioner med udeluft
- d. Ventilationsanlæggets effektivitet:
 - Potentialet for energibesparelser ved personlig ventilation skal undersøges ved pilotinstallationer.
 - Forskning i brug af forskellige parametre som input til behovsstyret ventilation – der tænkes her ud over temperatur og CO₂ på fugt eller luftkvalitet, fx MISO styring/regulering (Multiple Input Single Output).

- Forskning i optimering af luftfordelingsprincipper for behovsstyring af ventilation

Systemløsninger

I flerfamilieboliger er der behov for udvikling af nye mere individuelle ventilationssystemer, således at kanalføringen reduceres og således at problemer med støj og individuel styring forbedres. Desuden skal der udvikles systemer således at varmegenvinding udnyttes bedre end tilfældet er i dag.

I lavenergiboliger vil der være et stort varmeoverskud i sommermånederne og derfor behov for udluftning, solafskærmning og natkøling. Der er behov for udvikling naturlige ventilationssystemer kombineret med effektiv udvendig solafskærmning til boliger, der kan sikre passiv køling af bygningen både når beboerne er til stede og når de er væk fra hjemmet, dvs. automatiske systemer, der ikke reducerer bygningens adgangssikring og kan anvendes i kombination med eventuelle mekaniske systemer.

I kontorbyggeri er der især behov for udvikling af mekaniske ventilationssystemer, der kan bidrage til bedre udnyttelse af mulighederne for passiv køling, dvs. kan kombineres med naturlig ventilation, natkøling, effektiv udnyttelse af bygningens termiske masse etc.

Der er også behov for at undersøge om decentrale ventilationssystemer kunne være bedre løsninger end centrale enheder samt hvornår og i hvilke situationer. Decentrale enheder i facaden reducerer behovet for kanalføring i bygningen, hvilket både er pladsbesparende og reducerer energiforbruget til transport af luft. Decentrale enheder giver en væsentlig simplere decentral behovsstyring. Der ligger imidlertid et stort arbejde i at udvikle effektive og kompakte enheder både hvad angår varmegenvinding, opvarmning, køling, ventilatorer og filtrering. Der findes allerede decentrale produkter på markedet, der kan videreudvikles til at opfylde fremtidens behov.

3.3.4.5 Fokusområder

Fokusområderne for de relevante forskningsinstitutioner vil være baseret på tidligere og igangværende FoU projekter, som beskrevet ovenfor.

3.3.5 Varmt brugsvand

Er under udarbejdelse.

3.4 Energiforsyning

”Energiforsyning” omfatter fjernvarmesystemer samt bygningsintegreret solvarme og solcelle (solceller).

3.4.1 Lavenergifjernvarme til lavenergibebyggelser

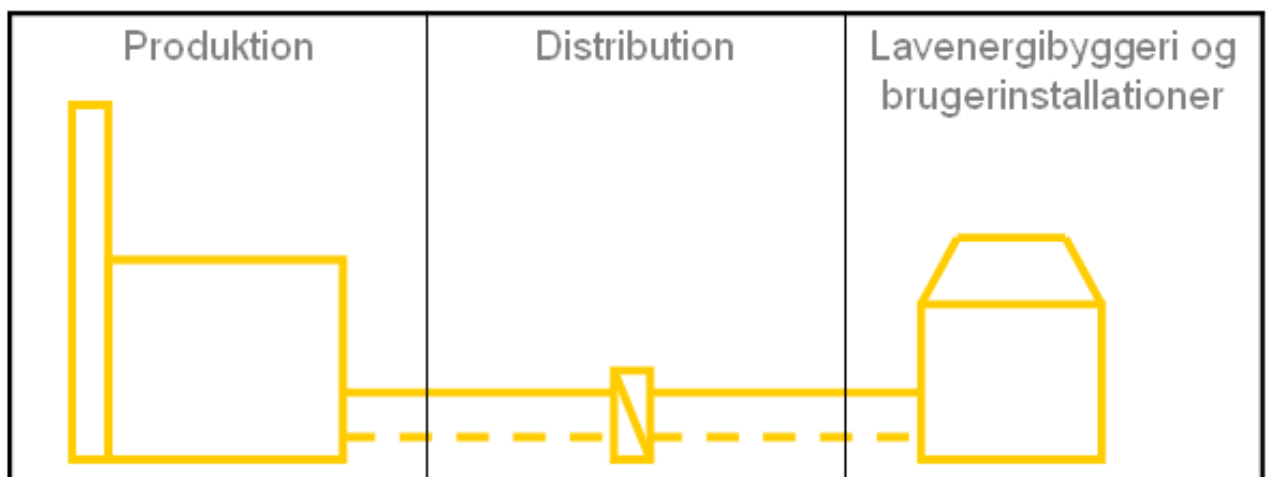
Fjernvarme er en unik fleksibel forsyningsform, der dels kan udnytte spildvarme fra kraftvarme og industrielle processer, dels kan anvende mange forskelligartede brændsler og varmekilder herunder vedvarende energi. Fjernvarme dækker 60% af Danmarks varmforsyning og forsyner 1,5 mio. boliger hvoraf ca. 700.000 er enfamiliehuse. Omkring 75% af fjernvarmen produceres som kraftvarme med en totalvirkningsgrad for el og varme på over 90 %. Fjernvarme baseret på spildvarme fra affaldsforbrænding og industriel produktion udgør ca. 12 %, men potentialet er væsentligt større. Fjernvarmen er derfor en væsentlig og effektiv del af Danmarks varmforsyning.

Fjernvarmesystemer opdeles normalt i de 3 delområder:

Produktion
Distribution
Brugerinstallationer

I et veludviklet fjernvarmesystem er der en afbalanceret sammenhæng mellem kundernes varme- og brugsvandsbehov, brugerinstallationerne, ledningsnettets dimensioner og produktionskapaciteten.

Når kundernes varmebehov ændres så radikalt, som det er tilfældet med indførelse af de nye bestemmelser i Bygningsreglementet for **lavenergibyggeri** stiller det nye krav til brugerinstallationers specifikationer og deres samspil med bygningen, ledningsdimensioner i stik- og gadeledninger og til produktionskapaciteten og sammensætningen af den. De nye krav har størst indflydelse i forbindelse med parcelhusbyggeriet.



Varmetab i distributionsnet og brugerinstallationer får i forhold til den afsatte effekt relativt større andel, hvis der ikke gøres op med vanetænkning. Derfor er det i langt højere grad end tidligere nødvendigt at tænke i **integrerede systemer**.

Temperaturniveauet i distributionsnet og brugerinstallationerne er en væsentlig parameter for varmetabet. På produktionssiden bliver potentialet for at udnytte spildvarme større, jo lavere temperatur det er nødvendigt at føre frem i distributionsnettet. For produktion med vedvarende teknologier som varmepumper og solvarme fås ligeledes den højeste effektivitet, når temperaturniveauet er lavt. Det er derfor interessant at tænke lav temperatur ind i systemerne og definere et nyt begreb: **lavenergifjernvarme**.

Da den danske fjernvarmebranche arbejder på en række markeder, der er klimamæssigt forskellige fra Danmark er det vigtigt at lavenergiløsninger også kan tilpasses **internationalt**.

3.4.1.1 Beskrivelse af delområder

Lavenergifjernvarme

Med etableringen af de nye decentrale kraftvarmeværker i 80'erne og 90'erne er mange fjernvarmenet udlagt for en fremløbstemperatur på 70°C om vinteren og 60°C om sommeren. Også de ældre værker arbejder med strategier for at sænke temperaturniveauet i nettene uden, at det går ud over forbrugerkomfort og effektiv afkøling. Med lavenergifjernvarme forudsættes der endnu lavere temperaturer i nettene end i dag eksempelvis fremløbstemperaturer ned til 40°C.

Lavenergibyggeri:

Allerede med de nuværende energirammekrav i bygningsreglementet er det dimensionerende varmebehov for enfamiliehuse typisk under 5 kW - for lavenergibyggeri klasse 2 er det omkring 3 kW og for lavenergibyggeri klasse 1 er det ca. 2 kW. De deraf følgende lave fjernvarmeforbrug er en udfordring for totaløkonomien, da traditionel tilslutning til fjernvarme er forbundet med store anlægsomkostninger og store ledningstab. Totaløkonomien vil dog variere meget fra fjernvarmeområde til fjernvarmeområde alt afhængig af tariffer mv. Som konsekvens heraf er der gennemført lovgivning, der kan fritage lavenergibyggeri fra tilslutningspligt.

Brugerinstallationer

De senere år er gulvvarme blevet det dominerende varmefordelingsanlæg i enfamiliehuse, mens der fortsat hovedsageligt installeres radiatoranlæg i etage- og kontorbyggeri. Rigtig dimensionering og indregulering af de varmefordelende anlæg er en forudsætning for god afkøling af fjernvarmevandet. Lavtemperaturfjernvarme vil forudsætte 2-3 gange større radiatorflade for radiatoranlæg til gengæld reagere radiatoranlægget væsentlig hurtigere end gulvvarme på solindfald og andre eksterne bidrag.

Brugsvandsproduktion baseres på enten varmtvandsbeholdere eller på gennemstrømningsvandvarmere, hvor sidstnævnte har et større effektbehov – især for de mindre anlæg med få brugere. I forhold til de lave dimensionerende varmebehov i lavenergibyggeri bliver brugsvandseffekten relativt større og kommer derfor til at være begrænsende for reduktion af ledningsdimensioner i distributionsnettet. Det er derfor oplagt at kigge nærmere på, hvordan brugsvandseffekten kan reduceres/udjævnes eller hvordan differenstrykket for små ledningsdimensioner overvindes. En fremløbstemperatur på 50°C fra lavenergifjernvarme giver desuden nogle udfordringer mht. til brugsvandstemperatur.

Fjernvarmeinstallationer installeres som direkte anlæg, direkte anlæg med blandesløjfe eller indirekte anlæg. I forbindelse med radiatoranlæg opnås den bedste afkøling normalt med de direkte systemer. Mindre fjernvarmeinstallationer er udstyret med selvvirkende automatik,

mens de større anlæg normalt er udstyret med vejrkompenserende styringer og motorventiler. En del af de mindre tilslutningsanlæg produceres som færdige installationsunits med begrænset termisk isolering.

Se desuden de øvrige installationsafsnit.

Distributionsnet

Stikledninger til enfamiliehuse er ansvarlige for en stor del af varmetabet i distributionsnettet. De har traditionel bestået af 27 mm rør, men der er de senere år kommet mindre dimensioner og nye rørtyper til som fx twin-rør som qua deres design har væsentligt lavere specifikt varmetab. Små rørdimensioner og –tab er en forudsætning for lavenergifjernvarme.

Produktion

Fjernvarme produceres på baggrund af en række forskellige brændsler/varmekilder og med en række forskellige teknologier:

Kraftvarmeproduktion

Dampkedler med damppturbine (kul, gas, olie, træ, halm, affald m.fl.)

Gasturbiner (naturgas, biogas, lossepladsgas, m.fl.)

Gasmotorer (naturgas, biogas, lossepladsgas, m.fl.)

I fremtiden sandsynligvis også:

Stirlingmotor (træ, halm, affald m.fl.)

Brændselsceller (naturgas, metanol, brint m.fl.)

Udelukkende varmeproduktion

Kedler (kul, gas, olie, træ, halm, affald m.fl.)

Solvarmeanlæg

I fremtiden sandsynligvis også:

Varmepumper

Elkedler ("dyppekogere")

Der pågår i andre sammenhænge en række studier af den overordnede energistruktur- og strategi i Danmark herunder samspillet med det frie el-marked, afgiftsprovenu for forskellige brændsler og CO₂-kvotesystemet. Det er alle elementer, som vil være med til at definere fremtidens produktion af fjernvarme og LavEByg følger disse studier nøje.

Integrerede systemer

At tænke i integrerede systemer er en forudsætning for mere effektive fjernvarmesystemer. Det gælder både i forbindelse med lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri, men også i forbindelse med renovering af byggeri og fjernvarmesystemer, hvor det i lige så høj grad er nødvendigt at tage fat på brugerinstallationernes drift.

Internationalisering

I Danmarks forudsættes det at lavenergibyggeri, hvis der skulle opstå et kølebehov langt hen af vejen kan køles naturligt. Under andre himmelstrøg er det langt fra en holdbar forudsætning og det er derfor nødvendigt at tænke køling med, når lavenergibyggeri skal forsynes med fjernvarme.

3.4.1.2 Screening (udviklings- og forskningsmuligheder)

Nedenfor er der foretaget en simpel SWOT-analyse af udvalgte delområder. Analysen tager udgangspunkt i en sammenligning mellem eksisterende fjernvarmeteknologi og teknologi til lavenergifjernvarme. Der er ikke fokuseret på produktion af fjernvarme, som dog i et vist omfang indgår i analysen af lavenergifjernvarme.

SWOT-analyse af lavenergifjernvarme som begreb

Styrker: Lave temperaturer i fjernvarmesystemet giver lavere distributionstab. De lavere temperaturer gør det desuden muligt at udnytte spildvarme ved et lavere temperaturniveau og integrere vedvarende teknologier som solvarme og varmepumper mere effektivt.

Svagheder: De lave temperaturer gør det umiddelbart vanskeligt at opnå høje brugsvandtemperaturer, som i nogle tilfælde vil være påkrævet for at minimere bakterievækst.

Muligheder: Lavenergifjernvarme vil kunne medføre væsentlige energibesparelser i forhold til business as usual. Der er dels et potentiale for nyt fjernvarmeforsynet lavenergibyggeri, men i sagens natur et endnu større potentiale i den eksisterende bygningsmasse i forbindelse med renovering af klimaskærm, brugerinstallationer og distributionsnet.

Trusler: Lavenergifjernvarme er en hel ny måde at tænke fjernvarme på, som stiller krav til aktørernes omstillingsparathed. Det er vigtigt at få konceptet demonstreret i praksis, da branchen er meget fokuseret på referencer og eksemplets magt.

SWOT-analyse af lavenergibyggeri i fjernvarmeforsynede områder

Styrker: Fjernvarmens overvejende styrke er dens evne til at udnytte spildvarme og anden lavværdig energi, som ellers ikke ville kunne udnyttes. Det gør sig selvfølgelig stadig gældende i forbindelse med lavenergibyggeri.

Svagheder: Fjernvarme er forbundet med store investeringer i ledningsnet og løbende varmetab fra distributionsnet, som skal finansieres via de løbende indtægter fra salg af varme. Med det lavere forbrug i lavenergibyggeri og med de nuværende energipriser og teknologier er totaløkonomien meget følsom.

Muligheder: Med udgangspunkt i at det skal være totaløkonomisk forsvarligt ligger der fortsat en række uudnyttede muligheder for at forbedre fjernvarmesystemerne i forbindelse med brugerinstallationer, distributionsnet og produktion. Investeringerne i tilslutningsanlæg til fjernvarme er prismæssigt gunstige i forhold til de teknologier, der ellers forventes anvendt i forbindelse med lavenergibyggeri fx individuelle varmepumper, solvarme og solceller.

Trusler: Ifølge bekendtgørelse 966 om tilslutning m.v. til kollektive varmeforsyningsanlæg, kan enfamiliehuse lavenergibyggeri klasse 1 og 2 fritages for tilslutningspligt til kollektiv forsyning. Det betyder en række planlægningsmæssige udfordringer, da totaløkonomien i fjernvarme hænger nøje sammen med tilslutningsgraden i et område. Det kan også betyde, at fjernvarme bliver fravalgt i områder, det faktisk ville være økonomi i at forsyne med fjernvarme.

SWOT-analyse af brugerinstallationer til fjernvarme

Styrker: Brugerinstallationerne til fjernvarme består dels af et tilslutningsanlæg, et varmfordelende anlæg og et brugsvandsanlæg. En af fjernvarmens styrker har været forholdsvis simple og driftssikre tilslutningsanlæg. Tilslutningsanlæggene kan benytte de samme varmfordelende anlæg og brugsvandsanlæg som andre typer varmforsyning.

Svagheder: Der har været begrænset fokus på samspillet mellem brugerinstallationer og resten af fjernvarmesystemet. En række af de afkølingsmæssige forbedringer og energibesparelser, der kan opnås på brugerinstallationer er ikke synlige for brugerne, men har stor betydning for fjernvarmesystemets samlede drift. Tilslutningsanlæggene vælges i højere grad på baggrund af pris, end på baggrund af de energimæssige aspekter.

Muligheder: Der er en række muligheder for at forbedre tilslutningsanlæg. Tilslutningsanlæggene kan isoleres bedre end det gøres i dag og vekslere/spiraler til varmtvandsproduktion kan dimensioneres med bedre afkøling for øje. Med henblik på at minimere den nødvendige tilslutningseffekt og den nødvendige disponible trykdifferens kan der udvikles fjernvarmeunits med mulighed for effektudjævning/varmeakkumulering. I den forbindelse skal der udvikles styringer og reguleringer, der sikrer effektudjævning i samspil med det varmfordelende anlæg og brugsvandsinstallationerne. Der er fordele og ulemper ved hhv. radiatoranlæg og gulvvarmeanlæg, men også nogle muligheder for at optimere og eventuelt kombinere disse anlæg i samspil med tilslutningsanlægget.

Trusler: Anlægsomkostninger til brugerinstallationer er en konkurrenceparameter, hvor fjernvarmeværkerne har begrænset indflydelse på dels deres dimensionering og deres indregulering.

SWOT-analyse af distributionsnet

Styrker: Distributionsnet er forudsætningen for fjernvarme og den høje forsyningssikkerhed. Tilslutningspligt er medvirkende til at opnå et effektivt distributionsnet.

Svagheder: I områder med lav energitæthed udgør varmetab til stik- og gadeledninger en i forhold til forbruget høj andel.

Muligheder: Der er en række muligheder for at mindske tabene i distributionsnettene. En af de væsentligste muligheder er reduktion af ledningsdiameteren. Forudsætningen herfor er at der sker en effektudjævning og/eller boostning i forhold til de enkelte brugerinstallationer. Der er også en række muligheder i at udvikle nye netdesigns, driftsstrategier og traceringer.

Trusler: Som for brugerinstallationerne er der fokus på anlægsomkostninger, men også driftsomkostningerne skal holdes nede af hensyn til totalomkostningerne.

SWOT-analyse af integrerede systemer

Styrker: Det integrerede systems styrke er, at brugerinstallationerne fra starten af optimeres til i samspil med bygningen at kunne levere de energioptimale driftsbetingelser for distribution og produktion. Der arbejdes indefra og ud og i modsætning til tidligere får brugerinstallationerne en hel central placering.

Svagheder: Der kan ligge et fordyrende element i denne form for energirigtig projektering, men er de rette værktøjer til stede og er betingelserne alment integreret i byggeprocessen kan der være et pænt besparelspotentiale at hente på driftsomkostningerne.

Muligheder: En forudsætning for velintegrerede systemer er, at de nødvendige fjernvarmeunits og distributionssystemer er tilgængelige. I forbindelse med lavenergifjernvarme til nyudstyknings er det desuden muligt at der skal ske en sektionering i forhold til det øvrige net og, at der skal suppleres/forsynes med vedvarende energikilder. I alle tilfælde er der en række muligheder for at forbedre de eksisterende måder at projekttere på.

Trusler: Det er en stor opgave at løfte, at få vendt praksis i forbindelse med projektering. Eksempelvis er der mere end 400 fjernvarmeværker i Danmark, der alle mere eller mindre har deres egne tilslutningsbetingelser.

3.4.1.3 Koblinger (sammenhænge mellem forskningen og byggerhvervets teknologisk udfordringer)

En stor del af den forståelsesbaggrund vi har for energieffektiv fjernvarmedrift i dag er baseret på forskningsprogrammerne EFP-Fjernvarme og Nordisk Energiforskningsprogram, som støttede en række forskningsprojekter i 1980'erne og 1990'erne.

Projekterne "Fjernvarmeforsyning af lavenergiområder", EFP-2001 og "Varmeforsyning af nye boligområder - konsekvenser af de nye energikrav til nyt byggeri", EFP-2005 har i de senere år beskæftiget sig med fjernvarmeforsyning af lavenergiområder herunder ledningsdimensionering til lave forbrug, men i forhold til forholdsvis traditionelle driftstemperaturer og -strategier.

I forhold til lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri har DTU-BYG i forbindelse med et eksamensprojekt: "Integrerede fjernvarmesystemer til lavenergi huse", undersøgt forskellige aspekter, herunder systemer med dimensionerende fremløbstemperaturer ned til 50°C med lovende totaløkonomi.

Eksamensprojektet er videreført i EFP07-projektet "Udvikling og demonstration af lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri" (projektledelse Teknologisk Institut). Konceptet baseres på en udjævning af varmebelastningerne gennem anvendelse af en buffertank i lavenergibygningen, lave temperaturer i fjernvarmenettet, samt mindre rørdimensioner opnået ved større differenstryk end hidtil anvendt. Yderligere demonstration af konceptet er planlagt.

Dansk Fjernvarmes F&U-konto medfinansierer en række mindre ofte meget praktisk orienterede udviklingsprojekter herunder senest projektet "Ultra lavtemperatur fjernvarme i nye områder" med COWI A/S, som aktør. Teknologisk Institut arbejder ligeledes i regi af Dansk Fjernvarmes F&U-konto i et projekt med titlen "Værktøjer til energimærkning og vurdering af brugerinstallationers energieffektivitet", som sætter fokus på brugerinstallationers afkølings- og isoleringstekniske standard.

I regi af det Internationale Energi Agenturs program for fjernvarme- og køling, inkl. kraftvarme, er der gennemført projekter vedr. fjernvarmeforsyning af områder med lav varmetæthed, IEA Annex VIII "District Heating Distribution in Areas with Low Heat Demand Density". Projektet analyserer belastninger i og driftsstrategier for områder med lav varmetæthed samt metoder til at reducere omkostninger til og varmetab fra fjernvarmenet, samt undersøger mulighederne for at erstatte husholdningernes elforbrug til f.eks. vask og

tørring med fjernvarme. Dansk Fjernvarmes F&U-konto understøtter en videreførelse af IEA-projektet i projektet ”Omlægning af husholdningers elforbrug til fjernvarme” (Teknologisk Institut i samarbejde med Fjernvarme Fyn o.a.).

I IEA Annex IX (2008-2011) gennemføres projekter om CO₂-reduktion gennem øget anvendelse af fjernvarme, anvendelse af varmelagre til forbedret interaktion mellem fjernvarmenet og lavenergibygninger. Projektet ”District Heating for Energy Efficient Building Areas” viderefører dele af Annex VIII-projektet ang. belastninger og varmebehov i nye bygninger, og det vil analysere central kontra decentral anvendelse af vedvarende energikilder (solvarme, varmepumper), samt analysere afgrænsningen mellem fjernvarme og individuel varmeforsyning.

”Low resource district heating” (”Lav ressource fjernvarme”) er et projekt under EUDP 2008, der har til formål at reducere brændselsforbrug og CO₂-emission ved anvendelse af omkostningseffektiv og intelligent fjernvarme sammen med fornybare energiressourcer. Konceptet demonstreres i en ny bebyggelse i Brædstrup, hvor solvarmeanlæg indgår dels i decentrale, integrerede tagløsninger, og dels i centrale jordplacerede solfangerfelter, og hvor lavenergibygninger kan købe og sælge varme til et fjernvarmenet.

3.4.1.4 Behov og muligheder (byggeerhvervets behov og muligheder for forskning, teknologiudvikling og uddannelse)

En række behov og muligheder for i forbindelse med fjernvarme er blevet afdækket i forbindelse med en workshop i netværket.

Behov:

Politisk behov - Danmark/Verden

Der er et behov for at der politisk bakkes op omkring fjernvarmen både på hjemmemarkedet, men også på eksportmarkederne. Dansk fjernvarmeindustri vækstmuligheder er på eksportmarkederne.

Standardiserede løsninger

Bedre standardisering, som fremmer de energieffektive fjernvarmeløsninger, men også giver mulighed for at tilpasse disse løsninger til eksportmarkederne.

Modulbaseret fjernvarmesystem

Et modulbaseret fjernvarmesystem, som kan sammensættes ud fra forskellige behov, men som sikrer et integreret system. Herunder fx små forsyningsenheder (moduler) med vedvarende energi, der forsyner ny udstykning. Evt. med mulighed for senere at koble til større forsyningsnet.

Rådgivnings- og leverandørplatform

Skabelse af en fælles platform for, hvordan et effektivt fjernvarmesystem skal etableres.

Nytænkning omkring normer fx effektbehov til varmt brugsvand

Modsvarende effektbehovene defineret i fx vandnormen (som i dag i højere grad er en vejledning) dagens behov?

Løsninger for større bygninger og klyngehuse

Der er meget fokus på enfamiliehuse, men de større bygninger er også relevante

Nye løsninger i forbindelse med distributionsnet

Herunder analyse af fx:

Cirkulationsledning til brugsvand, hvis lavt varmekonsum

Central buffer til flere husstande + placering af beholderen

1-strengede net til større områder

Lægning af ledninger i forbindelse med nybyggeri

Muligheder:

Mulighederne er beskrevet i forbindelse med screeningen.

Barrierer

Forskellige barrierer for udbredelse af nye løsninger for lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri er identificeret:

Hovedledninger skal tinglyses på grund

Afregningsforhold for nye udstykninger

Ved nyudstykningsplaner skal alle fjernvarmeværker lave plan for forsyning

Overdimensionering pga. af tradition og sikkerhed.

Fritagelse fra tilslutningspligt ved lavenergihuse.

Fjernvarme kan være besværligt at tage stilling til for bygherre fordi det er kollektivt.

Individualister kræver individuelle løsninger.

3.4.1.5 Fokusområder

Designkoncept/systemløsning/guidelines for lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri.

Med udgangspunkt i et integreret design af produktion, distribution og brugerinstallationer udvikles et koncept/systemløsning/guidelines for lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri med de tilhørende varme-, brugsvands- og evt. kølebehov.

Varmedelende anlæg og brugsvandssystemer til lavenergibyggeri

Hvilke krav stiller lavenergifjernvarme til varmeanlæggene i lavenergibyggeri? Både radiatorløsninger og gulvvarmeløsninger kan være relevante. I lavenergihuse er der ikke længere problemer med kuldenedfald ved vinduer og temperaturgradienterne er generelt små. Det betyder at radiatorerne kan placeres på nye måder i boligen. Lavtemperatursystemer vil desuden stille specielle krav til radiatorerne, når der skal opnås bedst mulig afkøling for mindst mulig pris. For gulvvarme bliver temperaturforskellen mellem rum og gulvoverflade væsentlig mindre end den er i dag. Det betyder at gulvvarmeanlæggene i princippet kan blive selvregulerende.

Unitløsning til lavenergibyggeri

Udvikling af unitløsning, der i samspil med det varmedelende anlæg og brugsvandssystemet kan levere de optimale betingelser for lavenergifjernvarme med lavest mulige tab til følge. Herunder udvikling/analyse af:

Avancerede styringer fx baseret på "Grey box" (stokastiske matematiske modeller)

Udjævning af varmtvandsforbrug

Perfekt lavdeling i beholdere

Muligheder for boosterpumpeløsning i forbindelse med store forbrug

Billiggørelse af rør og anlæg

Der skal fortsat være fokus på optimering og billiggørelse rør og anlæg herunder:

Rørtyper (dobbeltrør, tripplerør, æggeformede mv.)
Rørstørrelser (Stikledningsdimensioner ned til fx ø10)
Rørmaterialer
Isoleringsmaterialer
Holdbarhed/Driftstemperaturer
Lægning
Færre reklamationer

Tarifstrukturer til lavenergibyggeri

Analyse af følsomhed for tilslutning i nyudstykket område med lavenergihuse og for lavenergiudstyknings i eksisterende fjernvarmeområder. Tarifstrukturer, der gør det attraktivt at afstå fra at koble sig fra forsyningsnettet.

Energirenovring af byggeri tilsluttet samme gadeledning kan laves som en samlet pakke

Konceptet for lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri kan også anvendes i forbindelse med renovering af eksisterende distributionsnet fx ved at alle huse på samme gade energirenoveres samtidig med at ledningsnet renoveres og evt. sektioneres.

Brugerinstallationer til levering af både varme og kulde

Hvordan skal en brugerinstallation se ud, der både skal levere kulde og varme, hvis forsyningen er baseret på fjernvarme? Spørgsmålet er aktuelt for en række af eksportmarkederne for fjernvarmeteknologi.

Fjernkøling

Gennem en lovændring er det nu muligt at oprette fjernkøleforsyning i Danmark, og flere projekter er under udarbejdelse, bl.a. i København. Både løsninger med central køleproduktion og distribution af koldt vand, og decentral køleproduktion i absorptionsvarmepumper i de enkelte bygninger er mulige.

Nye anvendelser for fjernvarme, f.eks. hvor fjernvarme erstatter elektricitet. Som tidligere nævnt er der allerede påbegyndt et arbejde vedr. anvendelse af fjernvarmebaserede vaske-, og opvaskemaskiner, tørretumblere samt absorptionskølemaskiner. Udover de miljømæssige perspektiver i at erstatte el med fjernvarme er der også nogle driftsmæssige fordele ved at kunne holde liv i nettet på tidspunkter, hvor der ellers ikke er stort forbrug.

3.4.2 Solvarme- og solcelleanlæg på bygninger

3.4.2.1 Beskrivelse af delområde

Delområdet omfatter varme og elektricitet der produceres ved hjælp af solindfaldet på bygningens matrikel. Delområdet omfatter ikke passiv solvarme, som er en integreret del af selve bygningen.

Delområdet omfatter følgende udvalgte anlægstyper:

Solvarme:

brugsvandsanlæg

kombianlæg (rum- og brugsvandsopvarmning)

forvarmning af ventilationsluft

solkøling

Solel (solcelleanlæg):

nettilsluttede anlæg

direkte drift af applikationer

Med indførelse af de nye energibestemmelser i bygningsreglementet får solenergi en meget central rolle. Det kan ofte blive det, der kan få en bygningens energiforbrug ned under energirammen. Og denne rolle bliver endnu mere central, når energirammen som forventet sænkes til lavenergiklasse 2 i 2010 og til lavenergiklasse 1 i 2015.

Forbedring af klimaskærmen og energibesparende installationer er helt klart nødvendig for at nå disse lave energirammer, men der vil stadig være et ret stort energibehov til opvarmning af brugsvand og el til drift af bygningen og forbrug i bygningen. Det sidste vil måske endda stige, da rumopvarmningsbehovet bliver så lavt, at el til opvarmning kan blive et udbredt alternativ. Desuden vinder eldrevne varmepumper markedsandele fra fyrede varmeanlæg. Så for til den tid at kunne overholde energirammen vil det blive nødvendigt at installere energiproducerende enheder i bygningerne: solvarmeanlæg og solcelleanlæg. Disse anlægs produktion fratrækkes bygningernes energiforbrug før sammenligning med energirammen. Helt central bliver solenergi, hvis ønsket er at nå BOLIG+ standarden (www.BoligPlus.org): en energineutral bygning, der på årsbasis ikke aftager mere energi fra de offentlige net, end bygningen leverer tilbage.

Mange teknologier indenfor solenergi er kendte og gennemprøvede. Men der er stadig brug for en forskningsmæssig indsats for at forbedre pris/ydelsesforholdet for kendte teknologier og for at udvikle nye teknologier specielt tilpasset lavenergibyggeri.

Solvarme

Solvarme dækker i dag mindre end 1% af opvarmningsbehovet i Danmark. Den typiske anvendelse af solvarme er brugsvandsopvarmning, kombineret rum- og brugsvandsopvarmning og centrale solfangerfelter i kombination med fjernvarmenet. Forvarmning af ventilationsluft udnyttes kun i mindre grad, og der næsten ingen solkøling. Der findes desuden en del anlæg til opvarmning af svømmebade.

De fleste solvarmeanlæg har i dag plane solfangere med et eller to dæklag og en selektiv absorber. Solfangerne er typisk monteret uden på taget eller på stativer. Varmen fra solfangerne føres til et korttidslager typisk i form af en tank med vand.

Solel

Solel dækker i dag mindre end 0,1% af elforbruget i Danmark, hvilket er langt under EU gennemsnittet. De fleste solcelleanlæg er i dag opbyggede som nettilsluttede anlæg, hvor en vekselretter/inverter omformer dc-strømmen fra solcellepanelerne til 230V ac, som direkte kan anvendes i bygningens elnet. I tilfælde af overproduktion sendes den overskydende el ud på det offentlige net. Der findes færre anlæg til direkte drift af applikationer – f.eks. ventilatorer og pumper i solvarmeanlæg. En undtagelse er de populære solcelledrevne luftsolfangere, som især sælges til fritidshuse i stor stil.

Solcellepaneler består i dag mest af krystallinske (mono- eller polykrystallinske) solceller eller amorfe solceller fremstillet af silicium. Disse solceller bliver ikke produceret i Danmark, men indgår i dansk fremstillede moduler. En ny 3. generation af solceller PEC (Photo Electro Chemical) og polymér solceller er ved at blive udviklet. Her deltager Danmark i forsknings- og udviklingsarbejdet. Desuden er en bred vifte af andre solcelletyper og produktionsprocesser under udvikling internationalt. Solcellerne er enten paneler, der er monteret på stativer, eller integreret i tage eller facader. Solceller i vinduer eller semitransparente partier vinder desuden stigende udbredelse.

Prisen for solceller bestemmes i dag udenfor Danmarks grænser, og er nu atter faldende efter en periode med prisstigninger p.g.a. flaskehalse i produktionen.

3.4.2.2 Screening (udviklings- og forskningsmuligheder)

Nedenfor er der foretaget en SWOT-analyse for de 6 anlægstyper nævnt under 2.6.2.1. Dette danner grundlag for fastlæggelsen af behov og muligheder i det efterfølgende afsnit 2.6.2.3.

SWOT-analyse af Solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning

Styrker: Opvarmningsbehovet til brugsvandsopvarmning er i samme størrelsesorden i lavenergibygninger som i dagens bygninger. Solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning kan dække det meste af dette behov. Det er en kendt og afprøvet teknologi. Svær at komme udenom.

Svagheder: I dag for høj varmepris til at sikre stor udbredelse. Behov for en back-up-varmekilde i vinterhalvåret. For lille kendskab til teknologien blandt brugere. I dag add on teknologi i stedet for en integreret del af bygningens klimaskærm og integreret del af energianlægget.

Muligheder: Mulighed for forbedring af prisydelsesforholdet. Mulighed for bygningsintegration og integration med hele energianlægget.

Trusler: Andre opvarmningskilder vælges i stedet – f.eks. varmepumper eller opvarmning via fjernvarmenet med centralt placeret solfangerfelt.

SWOT-analyse af Solvarmeanlæg til kombineret rum- og brugsvandsopvarmning

Styrker: Lavenergibygninger (\leq lavenergiklasse 1) vil typisk have behov for en egenproduktion af varme for at opnå den lave energitilførsel udefra. Kendt teknologi.

Svagheder: I dag for høj varmepris til at sikre stor udbredelse. Faseforskydning mellem solindfald og varmebehov = brug for lagring over længere tid. Behov for en back-up-varmekilde i vinterhalvåret. For lille kendskab til teknologien blandt brugere. I dag add on teknologi i stedet for en integreret del af bygningens klimaskærm og bygningens energianlæg.

Muligheder: Mulighed for forbedring af prisyndelsesforholdet. Mulighed for bygningsintegration og for integration med hele energianlægget. Mulighed for stor dækning af rumopvarmningsbehovet

Trusler: Andre opvarmningskilder vælges i stedet – f.eks. varmepumper, elopvarmning, gas, fjernvarme, da der alligevel er behov for en back-up-varmekilde.

SWOT-analyse af Solvarmeanlæg til forvarmning af friskluft

Styrker: Enkel og billig teknologi. Let at integrere i klimaskærmen. Kan udformes som opholdsareal i sommer og overgangsperioderne.

Svagheder: Ringe solindfald når der er størst behov for forvarmning af den friske luft = beskeden ydelse pr. m².

Muligheder: Kan anvendes sammen med naturlig ventilation, hvor der normalt ikke er varmegenvinding. Mulighed for bygningsintegration og flere funktioner.

Trusler: Mekanisk ventilation med varmegenvinding.

SWOT-analyse af Solkøling

Styrker: Sammenfald mellem max solindfald og max kølebehov. Stigende kølebehov i lavenergibygninger, hvis der ikke sættes ind med effektiv solafskærmning og reduktion af den interne varmebelastning. Forventning om stigende kølebehov i bygninger med serverrum.

Svagheder: Lavere effektivitet og større anlæg end ved mekanisk køling. I dag dårlig økonomi. Lille kendskab til teknologien.

Muligheder: Nye kølemetoder. Køling og opvarmning med samme anlæg.

Trusler: Højeffektive mekaniske køleanlæg. Samme type køleanlæg drevet af spildvarme (fjernvarme).

SWOT-analyse af Nettilsluttede solcelleanlæg

Styrker: Elforbrug i bygninger reduceres nødvendigvis ikke som følge af lavere opvarmningsbehov. Der vil derfor være behov for egenproduktion af el, hvis hele bygningens energiforsyning skal dækkes af vedvarende energi. Kendt og afprøvet teknologi. Godt samspil mellem sol-el og vind-el. Prisen for sol-el reduceres løbende. I praksis eneste mulighed for lokal elproduktion med VE i byområder.

Svagheder: I dag høj sol-el-pris og dårlige afregningsvilkår sammenlignet med mange andre lande. Solceller er typisk en add on teknologi og ikke en integreret del af byggekomponenter.

For lille kendskab til teknologien blandt brugere. Ringe dansk indflydelse på prisen på solceller. Afhængig af stabilt elnet.

Muligheder: Mulighed for bygningsintegration. Mulighed for at solceller bliver en naturlig del af byggekomponenter. Mulighed for kombination med UPS anlæg. Faldende priser på solceller som følge af forøget produktionskapacitet og rationalisering. Stigende elpriser (slutbruger)

Trusler: Vind-el og el fra brændselsceller installeret i bygningen. Forringede vilkår for nettilslutning og afregning. Forbud mod reflekterende tagflader. Konkurrence med solvarme om den bedste placering.

SWOT-analyse af Solcelleanlæg til direkte drift af applikationer

Styrker: Intet tab i en inverter/vekselretter, da strømmen anvendes direkte i f.eks. dc-motorer. Prisen for solel reduceres løbende. Sammenfald mellem produktion og forbrug ved nogle applikationer – f.eks. pumper i solvarmeanlæg og ventilatorer til reduktion af overophedning. Kan være billigere at installere, da der ikke kræves nettilslutning.

Svagheder: I dag høj solel-pris. Ikke så mange anvendelsesmuligheder – lille område. Brug for transformer til 230V ac-nettet, hvis applikationerne også skal køre, når solen ikke skinner.

Muligheder: Muligheder for udvikling af applikationer, der fungerer optimalt ved direkte solel-drift. Ideel sammen med et dc-net i bygningen, samt i forbindelse med køleanlæg.

Trusler: 230V ac-nettet – herunder nettilsluttede solcelleanlæg.

Overordnet set er der brug for en forbedring af pris/ydelsesforholdet for både solvarme- og solcelleanlæg samt for en arkitektonisk god integration af disse i bygningerne.

Der er desuden brug for en udbredelse af kendskabet til disse teknologier – både i form af uddannelse af ingeniører, arkitekter, mm, og i form af en generel og bred forøgelse af vidensniveauet i det danske samfund.

3.4.2.3 Koblinger (sammenhænge mellem forskningen og byggerhvervets teknologisk udfordringer)

På solvarmeområdet – brugsvands- og kombianlæg samt anlæg til forvarmning af friskluft - har der igennem de sidste mere end 30 år foregået forskning og udvikling på vidensinstitutionerne (primært DTU og TI) i samarbejde med industrien vedr. forbedring af pris/ydelsesforholdet for solvarmeanlæg, udvikling af nye typer anlæg, bedre forståelse af anlæggenes virkemåde, udvikling af simuleringsprogrammer til optimering af solvarmeanlæg. mm. Dette arbejde har dog på grund af vigende bevillinger været reduceret i de seneste 6 år, og har de senere år primært foregået på DTU. Der findes allerede meget viden indenfor området, viden som direkte kan anvendes som grundlag for nærværende strategi.

I Danmark er der ikke meget ekspertise vedrørende solkøling. Et igangværende IEA projekt, Task 38 om solkøling har dog dansk deltagelse ved Ellehauge & Kildemoes, TI, PlanEnergi og AC-Sun. Deltagelse i dette forskningssamarbejde kan få stor betydning for udviklingen og udbredelsen af solkøling i Danmark.

I Danmark foregår der allerede udvikling/produktion af silicium til krystallinske solceller, forskning i PEC- og polymér solceller, udvikling/produktion af invertere/vekselretter. Der sker desuden forskning/udvikling/produktion/demonstration indenfor bygningsintegration af solceller – både i tage, facader, vinduer og som solafskærmning. Der er gennemført mange projekter indenfor bygningsintegration af solceller med deltagelse af vidensinstitutioner (primært TI og SBI), rådgivere og producenter/importører. Denne forskning vil danne et vigtigt udgangspunkt for den foreslåede indsats indenfor bygningsintegrering af solcellesystemer.

TI har deltaget i et internationalt samarbejde om karakterisering af solcelleanlæg med varmeudnyttelse, såkaldte PV/T anlæg, og har gennemført målinger på en del forskellige konstruktioner. Der er desuden indhentet mange erfaringer med direkte solcelledrift af kompressorer til køleformål, erfaringer som vil kunne bruges i forbindelse med decentrale kølesystemer i bygninger.

3.4.2.4 Behov og muligheder (byggeerhvervets behov og muligheder for forskning, teknologiudvikling og uddannelse)

Solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning er i dag en velkendt teknologi, og der er opnået stor viden om, hvordan denne type anlæg optimeres. Dette er dog ikke slået igennem i industrien – primært på grund af ringe styktal, hvorfor traditionelle løsninger vælges. Der er dels behov for yderligere forskning/udvikling for at udvikle og optimere anlæggene, dels en stimulering af markedet til at efterspørge anlæg med bedre pris/ydelses forhold.

Kombinerede solvarmeanlæg til rum- og brugsvandsopvarmning er kendt teknologi i forbindelse med traditionelle bygninger med højt energiforbrug og specielt sammen med biomassekedler. Men der er behov for forskning/udvikling for at tilpasse denne type anlæg til lavenergibygninger, der har et beskedent opvarmningsbehov – specielt i starten og afslutningen af fyringssæsonen. Der er behov for at udvikle solfangere, der kan pine mere varme ud af solen i fyringssæsonen, optimering af lagre, optimering af anlæggene i forhold til supplerende energikilder, styringssystemer til optimeret, integreret styring af solvarmeanlæg, bygning og anden opvarmningskilde, mm. Der kan udvikles solvarmeanlæg med intelligente varmelagre, som både kan opvarmes af solvarme og el fra nettet i perioder med billig el. Vandvolumenet, som opvarmes af el, er variabelt og tilpasses ved hjælp af et avanceret styresystem baseret på vejrudsigter det forventede varmebehov og den forventede solvarmeproduktion.

Der er behov for udvikling af sæsonvarmelagre til solvarmeanlæg, så solvarmeanlæg kan dække hele varmebehovet for nye bygninger. En lovende mulighed er smeltevarmelagre med et stabilt underafkølede salthydrat. Disse lagre kan teoretisk set lagre varme tabsfrit i langvarige perioder.

Der er behov for udvikling af simple systemer til solforvarmning af friskluft i forbindelse med naturlig og hybrid ventilation. Systemer med højere ydelse og lavere trykfald end i dag. Systemer der billigt og enkelt kan integreres med den øvrige klimaskærm.

For solel og solvarme er der i det hele taget brug for forskning/udvikling i integration i bygning og konstruktioner, så solenergi bliver en naturlig teknologi, der skal vælges fra og

ikke til. Det skal være let at indpasse både solvarme og solceller i tage og facader uden at det skæmmer bygningen, der bør bl.a. udvikles et fælles montagesystem.

Dc-net i bygninger parallelt med 230 V ac-nettet vil være en fordel for solel, idet solcelle-panelerne direkte kan kobles til dette net uden invertere. Dc-net i bygninger kan på sigt reducere brugen af transformere til dc-applikationer og dermed lede til store el-besparelser. Der bør derfor forskes/udvikles indenfor dette område.

3.4.2.5 Fokusområder

Fokusområderne for F&U for de deltagende vidensinstitutioner i netværket kan passende baseres på de styrkeområder, de hver især besidder fra bl.a. tidligere udførte F&U-projekter.

Fokusområdet for kernepartnere i LavEByg kan være:

DTU Byg: optimering af brugsvands- og kombinerede solvarmeanlæg med fokus på avancerede varmelagre, solfangere, styresystemer og komplette solvarmeanlæg.

TI: analyse af kombinationen solvarmeanlæg og andre opvarmningssystemer, integreret styring af solvarmeanlæg, bygning og andre forsyningsformer, forvarmning af friskluft, solkøling, bygningsintegration af solcelle og solvarmeanlæg samt dc-net.

SBi: bygningsintegration af solceller og solvarmeanlæg.

AAU: solforvarmning af friskluft i kombination med naturlig og hybrid ventilation.

XX: Arkitektonisk og byggeteknisk koordinering af solcelle- og solvarmeanlæg

Solceller til drift og styring af solvarmeanlæg

Optimering af solvarme, varmepumper og solceller i kombination

4 Forslag til projekter

Strategiarbejdet har identificeret en række behov og muligheder for forskning og teknologiudvikling mv., og på den baggrund er der nedenfor redegjort kortfattet for en række forslag til relevante projekter.

4.1 Hele bygningen

Nyt system til løsning af byggebranchens F&U-behov

Løsning af byggebranchens forsknings- og udviklingsbehov kunne som supplement ske via oprettelse af en fælles fond på initiativ fra byggeerhvervet, der skulle baseres på afgifter på nybyggeri og renovering, så bygherrerne betalte nogle promiller af byggeudgiften. Fonden kunne så støtte forskning og udviklingsopgaver, der var behov for i branchen. Tidligere har lignende forslag været fremme, men en fond blev aldrig realiseret, da der var tale om et for uforpligtende set-up.

Udvikling af metode og program til totalberegning, måling og drift af bygninger

Der er for mange eksempler på lavenergibyggeri, der er projekteret som sådan, men hvor efterfølgende målinger viser et meget større energiforbrug end planlagt. Set i lyset af dette er der behov for udvikling af en metode og detaljeret men brugervenligt program til fuldstændige og detaljerede beregninger af varmetab, energiforbrug og indeklima, der samtidig automatisk kan håndtere målinger og verificering af målinger (sammenligning af beregninger og målinger), som grundlag for fejlretning og driftsoptimering. Der er således Facility Management aspekter i projektet. Et sådant program vil fremme investeringer i energibesparende nybyggeri.

Udvikling af metoder og værktøjer til integreret bygningsdesign

Design af energirigtige bygninger er en kompleks proces. Det er nødvendigt at kombinere viden fra arkitekter, bygnings(energi)ingeniører, bygningskonstruktører og andre vigtige aktører i byggeriet, hvis det skal lykkedes at opføre reelt optimerede og helhedsorienterede designløsninger på energirigtige bygninger. Dette er særligt vigtigt i starten af designprocessen, dvs. ved formgivningen af bygningen. Der er dog mangel på passende metoder og værktøjer til integreret design af bygninger (analyse af indeklima og energiforbrug), hvilket er en barriere for udbredelse af lavenergibyggeri.

Energispareprismetode til optimalt valg af energimæssige tiltag

Det er nemt at finde tiltag, der giver en betydelig reduktion i bygningers energibehov, men det er umiddelbart svært at skabe et rationelt beslutningsgrundlag for valg af de bedste og billigste løsninger. Der er derfor behov for en simpel metode til prioritering og valg af de mest optimale løsninger, som opfylder målet for bygningens energibehov. Metoden bør baseres på totaløkonomiske betragtninger. En sådan metode kunne baseres på energispareprisen for relevante tiltag, som er prisen på en investering omregnet til et årligt beløb til forrentning og tilbagebetaling divideret med den årlige energibesparelse. Vælger man tiltag med samme energisparepris, vil man automatisk få den optimale løsning. Vælger man en samlet løsning, der opfylder et givet energikrav (f.eks. lavenergiklasse 1) og samtidig har samme energisparepris for hvert tiltag, vil man netop få den billigste løsning, der opfylder kravet.

Metodeteknisk er der nogle aspekter som skal behandles, hvilket gælder valg af reference og hvordan får man de rigtige priser frem samt hvordan man beregner og fordeler

energibesparelsen på de enkelte tiltag, idet summen af energibesparelsen ved enkelte tiltag er større end besparelsen ved de samlede tiltag. Der er behov for at teste og demonstrere metoden på forskellige bygningstyper, som baggrund for en eventuel videreudvikling af metoden.

Kompakt design af enfamiliehuse

Det er betydeligt nemmere at opnå et lavt energiforbrug, hvis der benyttes et kompakt bygningsdesign, da varmetabet mindskes, da forholdet mellem klimaskærmsareal og etageareal bliver mindre. Samtidig reduceres også længden af ydervægsgfundamenter, hvilket har en betydelig effekt, da fundamentslinietabet typisk er en af de største kuldebroer.

Ventilationssystemer med varmegenvinding til etageboliger

Mekaniske ventilationssystemer med varmegenvinding er en oplagt lavenergiløsning til etageboliger. Sådanne systemer findes, men er ikke udbredte. Det skyldes delvist at løsningen er forholdsvis dyr set i forhold til energibesparelsen. Der er et behov for en grundig dokumentation og demonstration af driftsøkonomien og mulighederne for energimæssige optimeringer samt behandling af andre barrierer som f.eks. støj og brugervaner.

Bedre måling/visning (online) af energiforbrug fordelt på relevante kategorier

Energimålinger et godt redskab til bl.a. verificering af energiforbrug/-besparelser og som grundlag for fejlretning/driftsoptimering mv., og som kan fremme investeringer i energibesparende nybyggeri. Der har i ca. 10 år været krav om individuel forbrugsmåling, så der er et godt erfaringsgrundlag for en videreudvikling.

Anvisninger på detaljer i udførelsen af lavenergiløsninger

Med henblik på at stimulere en løbende udvikling af bedre lavenergiløsninger er der et behov for et katalog af ”anvisninger” med gode og sikre standard-løsninger, der opfylder kravene til lavenergibygningsklasse 1 + 2. Dette skal ikke ses som begyndelsen på et opgør med bygningsreglementets funktionskrav til energirammen og mindste isoleringskrav til konstruktionerne. Det vil være oplagt at SBI udarbejder disse for statslige midler. Alternativt kunne der foretages en mere uformel dokumentation af egenskaber af virksomheders byggesystemer mm.

Principper for lavenergibygnings udformning

Det vurderes at der i byggeerhvervet er et stort behov for bl.a. generel viden om lavenergibyggeri. Det ville derfor være hensigtsmæssigt at få beskrevet de bedste og mest overordnede principper for lavenergibygnings udformning i form af en vejledning, svarende til de væsentligste forhold af betydning for bygningers energiforbrug: form, sammenbygning, antal etager, klimazoning, skygger, isolering, kuldebroer, vinduers varmebalance, lufttætning, varmeakkumuleringsevne, udnyttelse af passiv solvarme, dagslysudnyttelse, regulering af varme- og ventilationsanlæg, solvarme- og solcelleanlæg osv. Noget tilsvarende er lavet i lille målestok i BPS-regi i starten af 1990’erne.

4.2 Klimaskærm

4.2.1 Tunge klimaskærmskonstruktioner

Højisolerede tunge byggesystemer til lavenergihuse

Opførelse af lavt boligbyggeri i tunge klimaskærmskonstruktioner koster i dag ca. 10.000 kr./m². Dette er relativt dyrt i forhold til byggeri med lette konstruktioner. Der er samtidig i lande som Sverige og Tyskland indikationer på at tungt byggeri kan opføres til en væsentligt lavere pris og endda med et væsentligt lavere energiforbrug. Projektet skal fastlægge principper og retningslinier for innovative tunge byggesystemer til lavenergihuse med stor grad af præfabrikation, som grundlag virksomheders konkrete produktudvikling. Løsningen vil være fokuseret på minimalt varmetab ved så vidt muligt at udføre klimaskærmen med ubrudte isoleringslag med konstante isoleringstykkelser også i samlinger mellem bygningsdele og ud mod vindues- og døråbninger, samt eventuelt brug af isoleringsmaterialer med bedre isoleringsevne. Desuden skal der fokus på integrering af ventilationsanlæg med varmegenvinding (herunder sikring af lufttæthed) og regulering af passive solvarmetilskud. Det afgørende vil være at byggesystemet er højisolerende, samt nemt og hurtigt at benytte, men samtidig passende fleksibelt. Målsætningen er at udvikle principper der muliggøre produktudvikling og produktion af tunge byggesystemer til lavenergiklasse 1 huse til en pris på maks. 7.000 kr./m².

Varmekapaciteten betydning ved lavenergibyggeri

Tunge konstruktioner kan bedre lagre varme end lette konstruktioner, hvilket alt andet lige vil resultere i et lavere opvarmningsbehov og færre perioder med overtemperatur. I den forbindelse er det varmekapaciteten indenfor isoleringen, der har betydning. Det er muligt, ved hjælp af et bygningssimuleringsprogram, at medregne betydningen af varmekapaciteten og derved få påvist forskelle mellem lette og tunge konstruktioner. I projektet foretages således beregningsmæssige sammenligninger af energiforbrug og termiske indeklima for typiske bygningstyper med hhv. tunge og lette højisolerede klimaskærmskonstruktioner og samme transmissionstab. På basis af disse beregninger og analyser af hvor meget af massen, der er termisk aktiv, udformes der retningslinier for hvordan bygninger og klimaskærmskonstruktioner bør udformes, så deres varmeakkumuleringssevne medvirker til at sikre en effektiv udnyttelse af solindfaldet samtidig med at døgnvariationerne udjævnes tilstrækkeligt. En mulighed er også at kigge nærmere på at opnå et bedre samspil mellem tunge og lette konstruktioner i form af en udnyttelse af deres respektive fordele/egenskaber.

Fugt- og varmeteknisk undersøgelse af 3D-model af tilslutninger omkring vinduer og døre

Tæthed omkring vinduer og døre er et vigtigt forskningsemne. Udgangspunktet for integrerede lavenergiløsninger bør være at ydervægge skal udføres uden en reduceret isoleringstykkelse i vinduesfalsen og at vinduer og døre fastgøres til bagmuren. Dette fordrer brug af inddækninger (lysningspaneler), som skal opfylde krav om damp- og lufttæthed, og der er derfor behov for at undersøge hvordan man laver fleksible og tætte inddækninger. Tætheden kunne f.eks. klares med en dug som fastgøres til bagvæg via indstøbt profil og i samlingen mellem tilsætningsplade og vindue (løsningen kan bruges til alle typer bagvægge). Tapeløsning kombineret med overfladebehandling af vinduestilsætningerne er måske en bedre og tilstrækkelig løsning.

Optimale terrændæk-løsninger med stor isoleringstykkelse og uden skillevægsgunamenter

Fremtidens krav om ekstra isolering af terrændækkonstruktioner og så vidt muligt ingen gennembrydninger af isoleringslaget (dvs. ingen skillevægsgunamenter) betyder alt andet lige øgede deformationer af isoleringslaget. Der er derfor god grund til at undersøge højisolerede terrændæks deformation, som følge af kort- og langtidslast og som funktion af parametre som tykkelsen af betonpladen, komprimeringsgraden af underlaget for isolering,

differenssætninger. Desuden vil det være relevant at sikre at fremtidens terrændæk er tætte mod radon og anden forurening fra jorden mv.

Fundamenter ved vinduespartier og døre egnet til lavenergibyggeri

Varmetabet i samlingen mellem ydervægge og terrændæk bidrager oftest betydeligt til det samlede varmetab særligt i lavt boligbyggeri. Specielt er der et problem ved fundament under yderdøre og vinduespartier til gulv, som udgør en ret stor andel af husets samlede fundamentslængde og hvor varmetabet typisk er væsentligt større end ved fundament under ydervægge. Derfor er der et behov for at overveje nogle nye enkle beregningsprincipper og modeller, der kan give nogle realistiske størrelser på linietaf samt at finde praktiske løsninger på udformning af fundamenter og bundstykker, der vil kunne begrænse linietaf samtidig med, at konstruktionernes bæreevne, stabilitet, robusthed, fastgørelsesmulighed m.m. også tilgodeses. Det skal bemærkes, at der på markedet findes et bundstykke i plastikkomposit, som med fordel kan erstatte det traditionelle alu-bundstykke.

Energimæssige og økonomiske konsekvenser af forøgede isoleringstykkelser i tunge klimaskærmskonstruktioner

Hvor meget øges vægtykkelsen i fremtidens tunge lavenergi klimaskærmskonstruktioner. Hvad er konsekvenserne generelt i de bygningstyper, hvor der anvendes tunge konstruktioner; teknisk, ikke-teknisk og økonomisk. Hvordan kan ulemperne bearbejdes og neutraliseres.

Højisolerede ydervægge med indvendig bærende tung bagvæg til lavt byggeri

Traditionelle kombinationsvægge er problematiske som lavenergiløsninger, da formuren skal understøttes, hvilket indebærer at fundamentsbredden øges med isoleringstykkelsen. Desuden er der andre betydelige følgevirkninger relateret til lysindfald, vinduestilslutninger, bruttoetageareal mv. Der er udviklet principløsninger på konstruktionstyper, hvor fundamentsbredden ikke øges med isoleringstykkelsen og hvor formuren er erstattet af en tynd puds eller en let regnskærm, i form af eksempelvis træbeklædning eller skærmtegl, svarende til en type med en indvendig bærende tung bagvæg. Praktiske erfaringer med denne konstruktionstype med stor isoleringstykkelse er dog sparsom. Formålet med projektet er at udvikle, projektere og demonstrere højisolerede ydervægskonstruktioner til lavt byggeri, svarende til konstruktioner med én bærende vange i form af bagvæggen og uden traditionel formur. I projektet skal der arbejdes med bagvægge i porebeton, teglsten/-blokke, præfabrikeret teglvæg og letklinkerbeton, og regnskærme i form af puds, skærmtegl, træbeklædning eller lign., der ophænges i spærrene og/eller forbindes punktvis til den bærende bagvæg. Isoleringsniveauet i ydervæggene fastsættes ud fra sammenligninger af energisparepriser for ydervægisolering og alternative relevante energisparetiltag.

Demonstration af betonelementbyggeri med nye typer integrerede samlingsdetaljer

Det er relevant at få afprøvet de nye løsninger og vinduestilslutninger, der er udviklet i forbindelse med "Betonelementprojektet" vedrørende udvikling af betonelementer med bedre isolering og mindre kuldebroer. Der opføres to byggerier; et skalmuret boligbyggeri og et kontorbyggeri i etagehøje betonsandwich-elementer. Afprøvningen skal primært fokusere på hensigtsmæssige udførelsesmetoder og deres anvendelighed i praksis samt tæthed over for vandindtrængen. Det skalmurede boligbyggeri udføres f.eks. i samarbejde med et boligselskab eller privat bygherre og kontorbyggeriet i sandwich-elementer udføres i samarbejde med en valgt bygherre/arkitekt, der ønsker og magter flot betonsandwich-byggeri. Aspekter i projektet er herudover udførelse af velisolerede samlinger mellem ydervæg og gulv (fundamenter) samt detaljeret beregning og måling af energiforbrug til eftervisning af den varmetekniske ydeevne.

Integrerede klimaskærmsløsninger

Der er behov for øget tværfagligt samarbejde, hvis der skal sikres integrerede lavenergi klimaskærmsløsninger. Det drejer sig særlig om placering og føring af elinstallationer og andre installationer samt indbygning af vinduer og døre. Der er således i første omgang behov for analyse og kortlægning af svagheder ved klimaskærmen, som et overordnet grundlag for udvikling af integrerede lavenergiløsninger.

Anvisning i integrerede lavenergiløsninger vedr. samlinger omkring vinduer og døre

Der mangler viden om de varmetabsmæssige konsekvenser af forskellige former for indbygning af vinduer og døre og deres placering i hule vægge. En dårlig løsning er en yderlig placering og montering i lige fals. En bedre placering er en placering med lille (normalt) overlap til formuren og montering i forskudt fals.

4.2.2 Lette klimaskærmskonstruktioner

Principløsninger på optimale præfabrikerede lette klimaskærmskonstruktioner med stor isoleringstykkelse

Projektet skal udvikle konkrete principløsninger på optimale præfabrikerede konstruktioner med stor isoleringstykkelse (500 mm). Isoleringstiltag til dette niveau er oftest billigere end andre tiltag. Der tages udgangspunkt i tidligere projekter om samme emne, hvor der foreligger gode retningslinier for udformningen af højisolerede konstruktioner.

4.2.3 Energivinduer

Ramme/karmkonstruktioner af nye bedre materialer

Analyse af fordele og ulemper ved forskellige materialer til fremtidens ramme/karmkonstruktioner. Projektet skal afdække forskellige materials egenskaber og således deres fordele og ulemper mht. varmetab, pris, livscyklus, udseende, styrke, bearbejdelighed, holdbarhed, klimabestandighed, brand, indbrudssikring mv.

Vinduer med multifunktioner

Der er behov for forsknings- og udviklingsprojekter vedr. vinduer med multifunktioner mht. ventilation, integreret solafskærmning, varierende optiske og isolerende egenskaber i form af skodder, elektrokrome glas osv.

Alternative rudeløsninger

Projektet skal undersøge hvordan nuværende forseglede 3 lagsruder kan optimeres samt undersøge anvendelses- og optimeringsmulighederne for andre relevante rudeløsninger, som f.eks. 1+2 rude, 2+1 rude eller 2+2 rude. Der fokuseres på rudeløsninger med lavt varmetab og høj solenergitransmittans, hvilket er afgørende i boliger. Fordele og ulemper ved de forskellige løsninger belyses. 3 lagsruder analyseres mht. tykkelse og vægt, holdbarhed mht. termisk brud m.v., udvendig kondens, gasfyldning og temperaturforskel i relation til U-værdi m.m. Løsningsmuligheder mht. f.eks. udvendig kondens afprøves i praksis.

Projekteringsværktøjer til integration af vinduer

Der er behov for udvikling af simple projekteringsværktøjer til arkitekter og andre relevante målgrupper, der integrerer vinduesløsninger i det samlede byggeri.

4.2.4 Glasfacader og –tage, inklusiv solafskærmninger

Designviden og lavenergibyggeri

Udvikling af værktøj til støtte for arkitekter i skitsefase af lavenergibyggeri

Dobbeltfacader, udvikling af simuleringsværktøj

FoU konsortium for multifunktionelle facader

Integreret regulering af multifunktionelle glasfacader

Commissioning

4.3 Installationer

4.3.1 Energibesparende elektriske belysningsanlæg

Belysningssystemer baseret på individuelle behov og præferencer

Demonstrationsprojekter der dokumenterer nye el-effektive belysningsløsninger ud fra helhedsbetragtninger

Kortlægning af faktiske energibeparelsespotentialer ved forskellige styrings- og reguleringssystemer

Styring og regulering af LED belysning

Udvikling af beregningsmetoder og simuleringsprogrammer der kan beregne dagslysforhold i rum og bygninger og bedre integrere hensyn til dagslyset i den samlede belysningsløsning

4.3.2 Varmeanlæg

Strategiarbejdet vedrørende varmeanlæg har identificeret et behov for en række projekter.

Systemer til aktivering af termisk masse og omfordeling af varme/kulde internt og med omgivelserne/lagre.

Udvikling af integrerede løsninger, hvor aktive bygningselementer sammen med varme- og ventilationssystemer integreres i et system, giver mulighed for yderligere forbedring af bygningens energimæssige funktion. I nogle få byggeprojekter er der allerede implementeret aktive bygningselementer som dobbeltfacader, termisk aktive dæk konstruktioner, underjordiske indtagskanaler til ventilationsluft, m.m., men den aktuelle viden om deres funktion og den bagvedliggende varme- og massetransportproces er begrænset. Projekter vil fokusere på at udvikle nye komponenter og systemer, forbedre mulighederne for beregning af deres funktion, forbedre projekteringsmetoder og styringsstrategier.

Undersøgelse af regulerings effektiviteten af forskellige kombinationer af varmegivere og reguleringskoncept.

De foreligger en del beregninger af reguleringseffektiviteten men meget få eksperimentelle undersøgelser.

Individuel rum regulering

Specielt for lav-energi og passiv huse skal det undersøges hvor vigtig den individuelle rum regulering er for komfort og energiforbrug. Kan den undværes? Er det afhængig af varmesystemet (luftvarme, gulvvarme, radiatorer)?

Undersøgelse af den optimale placering af rumføleren og udformning af rumføler.

De fleste rum følere i dag måler fortrinsvis rum luftens temperatur i et punkt uden for opholdszonen. Personen er dog i opholdszonen og også påvirket af strålingstemperaturen.

Udvikling af lav-temperatur varmesystemer til bygningsrenovering.

Egentlige lav-temperatursystemer kræver ofte store varmeplader, som gulvvarme. Et traditionelt gulvvarmesystem med rør integreret i cement/beton laget egner sig normalt ikke til renovering. I stedet er der brug for systemer, der ikke reducerer rumhøjden væsentligt.

Energy and comfort benefits of using feed-back information to occupants.

The influence of the user on a buildings energy use can be up to 300%. So a large potential energy savings are available if it is possible to reduce the impact of the user. A possible way is to give the user more feed-back on the way he/she try to control the indoor environment and the resulting use of energy. Also this study will be made in both laboratory test rooms and in real buildings combined with computer simulations of building energy use under different user profiles. The results will be used to develop new types of controls, new sensors and methods for providing the feed-back to the user.

The use and effect of drifting temperatures in buildings

To control the temperature in a building at a constant value during the whole day may require large HVAC systems and energy consumption. Allowing the temperature to drift will reduce peak load (system size) and energy consumption. Also it will also increase the possible use of new technologies for heating and cooling of buildings (PCM, TABS, etc.) and the use of renewable energy sources. The question is, however if the comfort and performance of the occupants will be influenced negatively by drifting temperatures and what criteria must be set for an acceptable drift. This study will be a combination of test with subjects in test-spaces and in real buildings together with dynamic computer simulations of different type of HVAC systems to evaluate the energy benefits.

Billige og højeffektive varmepumper

Nye intelligente løsninger bør udvikles, f.eks. i form af varmepumpeløsninger der er billige, men samtidigt med en god effektfaktor ved at man udnytter tilgængelige varmekilder, jord, spildevand, soltag, udeluft. Brug af afkastluft til varmepumper er en dårlig ide, da man normalt skal bruge denne til balanceret ventilation med varmegenvinding.

Luftvarmeløsninger (se også Ventilationsanlæg)

Luftvarmeløsninger i forbindelse med balanceret ventilation med varmegenvinding er et andet område, der er interessant, fordi man udnytter ventilationssystemet til fordeling af varme. Her kan der være interesse for at få udviklet såkaldte kompakt aggregater, som man kender det fra

passiv huse i Tyskland. Disse har normalt en lille varmepumpe indbygget og normalt kombineres med en forvarmning af ventilationsluft i jordkanaler.

Fjernvarme (se også afsnit Fjernvarme)

Nye typer fjernvarmeløsninger, med fokus på begrænsning af tab, er interessante blandt andet vidtgående lavtemperaturdrift, som f.eks. er meget anvendeligt i forbindelse med gulvvarme, og hvor varmt brugsvand eventuelt kan klares med et el-supplement og om sommeren også kan få dækket de meste af energien fra solvarme.

4.3.3 Køling

Strategiarbejdet vedrørende køling har identificeret et behov for en række projekter. Der er delvist overlap med "Ventilationsanlæg".

Alternative kølemetoder

Udvikling og information om alternative kølemetoder bør forstærkes. Her tænkes på bl.a. sorptionskøling, men også andre "teknologier" er oplagte at anvende, f.eks. adsorption, hybridkøling (anvendelse af traditionelt kølesystem som heatpipe eller termosifon ved bypass af kompressor), frikøling baseret på andre teknologier end direkte køling med udeluft etc.

Optimering af traditionelle kølemetoder

Der er behov for en indsats omkring optimering af traditionelle kølemetoder, da vi på a/c anlæggene stadig ser langt fra optimale anlæg – her bør fokus rettes mod systemdesign, komponentdesign (specielt vekslere), anvendelse af alternative kølemidler (naturlige), optimerede reguleringsstrategier etc.

Systemer til aktivering af termisk masse og omfordeling af varme/kulde internt og med omgivelserne/lagre.

Udvikling af integrerede løsninger, hvor aktive bygningselementer sammen med varme- og ventilationssystemer integreres i et system, giver mulighed for yderligere forbedring af bygningens energimæssige funktion. I nogle få byggeprojekter er der allerede implementeret aktive bygningselementer som dobbeltfacader, termisk aktive dæk konstruktioner, underjordiske indtagskanaler til ventilationsluft, m.m., men den aktuelle viden om deres funktion og den bagvedliggende varme- og massetransportproces er begrænset. Projekter vil fokusere på at udvikle nye komponenter og systemer, forbedre mulighederne for beregning af deres funktion, forbedre projekteringsmetoder og styringsstrategier.

Systemer til udluftning og nat køling af boliger.

I lavenergiboliger vil behovet for køling bliver væsentligt forøget. Projektet vil udvikle enkle, billige systemer til automatisk udluftning og nat køling af bygninger, der kan opretholde et tilfredsstillende termisk indeklima selvom beboerne ikke er til stede.

Passiv køling i kontorbyggeri

Projektets formål er at udvikle fremtidens løsninger til klimatisering af kontorbygninger og lignende bygninger, med fokus på at skabe et godt indeklima i sommerhalvåret med minimalt elforbrug. Ideen er at udvikle styringer og systemer, hvor effektiv mekanisk ventilation i vinterhalvåret kombineres med naturlig ventilation og god solafskærmning i sommerhalvåret i hybride, integrerede løsninger, hvor der under hensyn til bygningens udformning og varmebelastningerne opnås et godt indeklima med minimalt elforbrug til mekanisk udluftning og køling.

4.3.4 Ventilationsanlæg

Individuel temperaturregulering, ventilationsstrategier til opvarmning af bygninger med god termisk komfort og luftkvalitet

Med reduktion af behovet for opvarmning af lavenergibygninger, bliver det interessant at kombinere varme og ventilation i et system. Det kræver imidlertid udvikling af nye ventilationsstrategier, der er velegnede til opvarmning og som kan sikre både en god termisk komfort og en effektiv ventilation med god luftkvalitet i bygningen.

Reduktion af opvarmningsbehovet betyder også at den interne omfordeling af varme i bygningen kan være meget større end den tilførte energi, hvorfor individuel temperaturregulering bliver vanskelig. Det er derfor også meget vigtigt at undersøge om individuel temperaturregulering er nødvendig og i givet fald hvilke tiltag og ændringer i bygning og ventilationssystem dette kræver.

Behovsstyret ventilation i boliger

Ventilationsmængden i boliger er hverken fastsat på baggrund af krav til sundhed, komfort eller energiforbrug. Luftsiftet er fastsat således at de fleste boliger ventileres ”tilfredsstillende”, hvilket betyder at ventilationen i perioder uden beboer kan være for høj i mange boliger. Der kan derfor opnås betydelige energibesparelser behovsstyret ventilation. Projektet vil analysere behovet for ventilation i boliger på baggrund af sundhedsmæssige og komfortmæssige krav, vurdere besparelspotentialet ved indførelse af behovsstyring samt demonstrere i praksis at behovsstyring kan medføre både et forbedret indeklima og reduceret energiforbrug

Kompakte anlæg til ventilation og opvarmning af lavenergiboliger med høj varmegenvindingsgrad og lavt tryktab

Projektet vil fokusere på udvikling af kompakte anlæg til ventilation og opvarmning af lavenergiboliger, der samtidig opfylder behovet for effektive komponenter og lavt tryktab. Formålet er at reducere kanalføring og pladskrav til centralaggregat, således at systemet nemt kan indplaceres i boligen og udgifter til vedligeholdelse reduceres.

Decentrale ventilationssystemer til kontor og skolebyggeri

Projektet vil omhandle udvikling af effektive og kompakte enheder både hvad angår varmegenvinding, opvarmning, køling, ventilatorer og filtrering. Sådanne enheder reducerer behovet for kanalføring i bygningen, hvilket både er pladsbesparende og reducerer energiforbruget til transport af luft. Decentrale enheder giver en væsentlig simplere decentral behovsstyring.

Individuelle ventilationssystemer til flerfamilie boliger

Projektet har til formål at udvikle et nyt decentralt ventilationssystem med nye komponenter til boliger, der er velegnet i forbindelse med renovering. Det skal opbygges som et system pr. bolig med følgende karakteristika: “plug and play” høj effektive komponenter, lavenergi komponenter forsynet via PV-cellers, behovsstyring, Trådløs kommunikation mellem sensorer, komponenter og styreenhed. Sådant et system vil kræve et minimum af installationsomkostninger, være fleksibelt og hurtigt at installere og vil kunne tilpasses forskellige typer af boliger.

Systemer til aktivering af termisk masse og omfordeling af varme/kulde internt og med omgivelserne/lagre.

Udvikling af integrerede løsninger, hvor aktive bygningselementer sammen med varme- og ventilationssystemer integreres i et system, giver mulighed for yderligere forbedring af bygningens energimæssige funktion. I nogle få byggeprojekter er der allerede implementeret aktive bygningselementer som dobbeltfacader, termisk aktive dækkonstruktioner, underjordiske indtagskanaler til ventilationsluft, m.m., men den aktuelle viden om deres funktion og den bagvedliggende varme- og massetransportproces er begrænset. Projekter vil fokusere på at udvikle nye komponenter og systemer, forbedre mulighederne for beregning af deres funktion, forbedre projekteringsmetoder og styringsstrategier.

Systemer til udluftning og natkøling af boliger.

I lavenergiboliger vil behovet for køling blive væsentligt forøget. Projektet vil udvikle enkle, billige systemer til automatisk udluftning og natkøling af bygninger, der kan opretholde et tilfredsstillende termisk indeklima selvom beboerne ikke er til stede og være aktive selv i perioder med regn.

Passiv køling i kontorbyggeri

Projektets formål er at udvikle fremtidens løsninger til klimatisering af kontorbygninger og lignende bygninger, med fokus på at skabe et godt indeklima i sommerhalvåret med minimalt elforbrug.

Der kunne udvikles styringer og systemer, hvor effektiv mekanisk ventilation i vinterhalvåret kombineres med naturlig ventilation og god solafskærmning i sommerhalvåret i hybride, integrerede løsninger, hvor der under hensyn til bygningens udformning og varmebelastningerne opnås et godt indeklima uden anvendelse af el til mekanisk udluftning og køling.

Der kunne også udvikles nye mekaniske systemer, hvor der kunne opnås meget større luftmængder for natkøling om sommeren f.eks. ved at ændre på kanalsystemets udformning og modstand, antal indblæsningssteder eller lignende,

Aerodynamisk udformning af ventilationsaggregat og komponenter

Projektet vil gennem undersøgelse og optimering af den strømnings tekniske udformning enkelte komponenter i et mekanisk ventilationsanlæg udvikle et ventilationssystem med meget lavere energiforbrug til transport af luft. Specielt vil fokus være rettet mod at bevæge sig væk fra "det firkantede aggregat" og hen imod et "aksialblæser tilpasset aggregat", hvor luften ikke skal zig-zagge gennem aggregatet med stort trykfald til følge.

4.3.5 Varmt brugsvand

Er under udarbejdelse.

4.4 Energiforsyning

4.4.1 Lavenergifjernvarme til lavenergibebyggelser

Designkoncept/systemløsning/guidelines for lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri. Med udgangspunkt i et integreret design af produktion, distribution og brugerinstallationer udvikles et koncept/systemløsning/guidelines for lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri med de tilhørende varme-, brugsvands- og evt. kølebehov.

Varmefordelende anlæg og brugsvandssystemer til lavenergibyggeri

Hvilke krav stiller lavenergifjernvarme til varmeanlæggene i lavenergibyggeri? Både radiatorløsninger og gulvvarmeløsninger kan være relevante. I lavenergihuse er der ikke længere problemer med kuldenedfald ved vinduer og temperaturgradienterne er generelt små. Det betyder at radiatorerne kan placeres på nye måder i boligen. Lavtemperatur systemer vil desuden stille specielle krav til radiatorerne, når der skal opnås bedst mulig afkøling for mindst mulig pris. For gulvvarme bliver temperaturforskellen mellem rum og gulvoverflade væsentlig mindre end den er i dag. Det betyder at gulvvarmeanlæggene i princippet kan blive selvregulerende.

Unitløsning til lavenergibyggeri

Udvikling af unitløsning, der i samspil med det varmfordelende anlæg og brugsvandssystemet kan levere de optimale betingelser for lavenergifjernvarme med lavest mulige tab til følge. Herunder udvikling/analyse af avancerede styringer fx baseret på ”Grey box” (stokastiske matematiske modeller), udjævning af varmtvandsforbrug, perfekt lavdeling i beholdere, muligheder for boosterpumpeløsning i forbindelse med store forbrug.

Billiggørelse af rør og anlæg

Der skal fortsat være fokus på optimering og billiggørelse rør og anlæg herunder:

- Rørtyper (dobbeltrør, tripplerør, æggeformede mv.)
- Rørstørrelser (Stikledningsdimensioner ned til fx ø10)
- Rørmaterialer
- Isoleringsmaterialer
- Holdbarhed/Driftstemperaturer
- Lægning
- Færre reklamationer

Tarifstrukturer til lavenergibyggeri

Analyse af følsomhed for tilslutning i nyudstykket område med lavenergihuse og for lavenergiudstyknings i eksisterende fjernvarmeområder. Tarifstrukturer, der gør det attraktivt at afstå fra at koble sig fra forsyningsnettet.

Energirenovering af byggeri tilsluttet samme gadeledning kan laves som en samlet pakke

Konceptet for lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri kan også anvendes i forbindelse med renovering af eksisterende distributionsnet fx ved at alle huse på samme gade energirenoveres samtidig med at ledningsnet renoveres og evt. sektioneres.

Brugerinstallationer til levering af både varme og kulde

Hvordan skal en brugerinstallation se ud, der både skal levere kulde og varme, hvis forsyningen er baseret på fjernvarme? Spørgsmålet er aktuelt for en række af eksportmarkederne for fjernvarmeteknologi.

Fjernkøling

Gennem en lovændring er det nu muligt at oprette fjernkøleforsyning i Danmark, og flere projekter er under udarbejdelse, bl.a. i København. Både løsninger med central køleproduktion og distribution af koldt vand, og decentral køleproduktion i absorptionsvarmepumper i de enkelte bygninger er mulige.

Nye anvendelser for fjernvarme

F.eks. hvor fjernvarme erstatter elektricitet. Som tidligere nævnt er der allerede påbegyndt et arbejde vedr. anvendelse af fjernvarmebaserede vaske-, og opvaskemaskiner, tørretumblere samt absorptionskølemaskiner. Udover de miljømæssige perspektiver i at erstatte el med fjernvarme er der også nogle driftsmæssige fordele ved at kunne holde liv i nettet på tidspunkter, hvor der ellers ikke er stort forbrug.

4.4.2 Solvarme- og solcelleanlæg på bygninger

Optimering af solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning

Den igangværende forsknings/udvikling indenfor optimering af solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning fortsættes for at opnå bedre pris/ydelsesforhold. Solfanger- og beholderfabrikanter informeres løbende. I takt med stramningen af energirammerne forsøges markedet påvirket til at efterspørge mere optimale solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning.

Udvikling af ”vintersolfangere”

Der bør forskes i solfangere, der er bedre til at udnyttes solen i fyringssæsonen. Disse solfangere tilpasses specielt til kombinerede solvarmeanlæg til rum- og brugsvandsopvarmning for at øge dækningsgraden ved rumopvarmning. Varmetabet minimeres og den optiske karakteristik optimeres for disse solfangere.

Solvarmeanlæg med sæsonvarmelagring

Forskningen bør fokuseres på udvikling af smeltevarmelagre med stabil underafkøling. Med disse varmelagre kan solvarme lagres fra sommer til vinter, således at solvarmeanlægget kan dække varmebehovet fuldstændigt.

Bygningsintegration af solfangere

Her fokuseres på to områder: a) design af solfangersystemer til integration i bygninger og b) undersøgelse af bygningsudformninger velegnet til vintersolfangere.

Vedr. a): Der fokuseres på udvikling af systemer til arkitektonisk god integration af solfangere i tagflader. Specielt udvikling af design og montageprincipper, hvor solfangeren dels udgør en del af klimaskærmen, dels hvor fordelingen af arealet mellem solfanger, solceller og traditionel klimaskærm er ”flydende”,

Vedr. b). Her tænkes primært på integration af ”vintersolfangere” der skal have en stor hældning for at kunne udnytte vintersolen. Hvis disse solfangere ikke skal stå på stativer løftet op fra taget, er det nødvendigt at indtænke ”vintersolfangere” i bygningsdesignet. Der udvikles gode løsninger for kombineret design af bygninger og solfangere.

Optimering af kombinerede solvarmeanlæg

Parallelt med forskning/udvikling af ”vintersolfangere” optimeres den samlede udformning af kombinerede solvarmeanlæg for at opnå størst muligt dækningsgrad med mindst mulig lager.

Analyse af samspil mellem solvarmeanlæg og andre forsyningsformer

Med mindre der udvikles tabsfrie lagre, er det nødvendigt med en back-up varmekilde til solvarmeanlæg – både til brugsvands- og kombianlæg. Ved brugsvandsanlæg vil der typisk være en anden opvarmningskilde til dækning af rumopvarmningsbehovet. I forbindelse med kombianlæg, konkurrerer solvarmeanlægget med andre forsyningsformer. Der er derfor behov for at gennemføre et udredningsprojekt, der belyser fordele og ulemper ved kombination af kombinerede solvarmeanlæg og andre forsyningsformer som varmepumper, gas, fjernvarme, elopvarmning – ved det sidste bør også undersøges, om lageret i solvarmeanlægget med fordel kan udformes, så overløbsel fra vindmøller anvendes som back-up varmekilde.

Integreret styring af kombinerede solvarmeanlæg

For at sikre en høj dækningsgrad med solvarme samtidigt med et godt indeklima er det nødvendigt med et optimalt samspil mellem solvarmeanlæg, andre opvarmnings-/energiformer og bygningen. Der er derfor behov for udvikling af intelligente, integrerede styresystemer der kan sikre et lavt energiforbrug samtidig med en høj dækningsgrad med vedvarende energi.

Udvikling af solforvarmning af frisk luft

Elforbruget i lavenergibygninger kan reduceres betydeligt ved at anvende naturlig eller hybrid ventilation. Men det øger varmetabet fra bygningen, idet der i dag ikke anvendes varmegenvinding i forbindelse med naturlig og hybrid ventilation. Forvarmning ved hjælp af solen kan nedbringe dette varmetab. Der skal udvikles effektive luftsolfangere med lille tryktab samt forskes i anvendelse af glastilbygninger, dobbeltfacader, mm. som varmekilde i forbindelse med ventilationssystemer.

Forskning/udvikling indenfor solkøling

Den igangværende forskning/udvikling af varmedrevet køling (absorption, sorption, adsorption, vanddamp, ...) skal tilrettes det tilgængelige temperaturniveau, som er muligt at opnå med solvarmeanlæg. Der skal udvikles køleanlæg med høj effektivitet samtidigt med, at solvarmeanlæggets effektivitet bibeholdes på et rimeligt niveau. Der skal specielt fokuseres på at forbedre prisydelsesforholdet.

Udfærdigelse af katalog for eksisterende løsninger til bygningsintegration af solceller

Der findes allerede i dag kommercielle løsninger for bygningsintegration af solceller. Markedet er dog uoverskueligt, så det er svært at finde de rigtige løsninger. Der bør derfor gennemføres et udredningsprojekt, der screener markedet for løsninger, således at der kan opbygges et katalog af løsningsmuligheder, som dels direkte kan anvendes til udvælgelse af en egnet løsning i et konkret byggeprojekt, dels anvendes som inspirationskilde til den fortsatte udvikling af bygningsintegrerede solcelleløsninger.

Udvikling af integrationsløsninger for solceller i bygninger

Den igangværende forskning/udvikling af gode løsninger for bygningsintegration af solceller fortsættes – bl.a. på baggrund af ovenstående katalog. Der udvikles installations- og monteringsystemer, hvor ikke blot solceller, men også solfangere, vinduer, vægge og tage kan indgå. Der skal arbejdes med integration af solceller i tage, vægge og vinduer samt som solafskærmning. Der fokuseres på løsninger, hvor solceller ikke mere er add on's med indgår

som en integreret del af byggekomponenterne, således at solceller bliver en feature, der skal vælges fra og ikke til. Arbejdet bør omhandle alle typer af solceller: krystallinske, amorfe og de nye typer som CIS, CdTe, mikrokrySTALLINSKE osv, og på længere sigt 3. generations solceller (PEC og polymer hvis de kan opvise tilpas levetid).

Der bør desuden udvikles mindre skyggefølsomme solcelleanlægssystemer, så opvokende træer og nabobygninger ikke får katastrofal indflydelse på ydelsen.

Dc-net i bygninger

Der bør igangsættes forskning/udvikling vedr. udformningen af dc-net i bygninger, således at der opnås størst muligt elbesparelser i bygningen samtidigt med, at solellet kan integreres.

Samtidigt bør der forskes/udvikles indenfor direkte pv-dc-drift af applikationer, da dette vil understøtte udviklingen af dc-net samtidigt med at behovet for invertere mellem pv-systemer og applikationer reduceres.

Videreudvikling af Be06 til bedre at kunne håndtere solenergi

Be06 er et registreringsværktøj, der kun skal anvendes til at bestemme, om en ny bygning overholder energirammen samt til energimærkning af eksisterende bygninger. Men det må forudses, at det i høj grad vil blive anvendt til optimering af bygningsdesign samt installationer. Det er derfor vigtigt, at Be06 regner rimelig korrekt. Be06 regner i dag rimelig korrekt vedr. opvarmningsbehov, med har en for simpel tilgang til solenergi. Be06 bør derfor videreudvikles til at regne korrekt på solenergi.

Bilag A: Energikrav til lavenergibygninger i ind- og udland

Der redegøres i dette bilag for energikrav til lavenergibygninger i Danmark og i udlandet. Da passivhuse er det mest aktuelle og kendte lavenergibygningkoncept, er der en udførlig omtale af konceptet, herunder en sammenligning med typiske nye danske huse.

Lavenergibygninger i Danmark

Det nye Bygningsreglement 2008 angiver standard energirammer og energirammer for lavenergibygninger for boliger og for andre bygninger end boliger. De fremgår nedenfor, hvor A er det opvarmede etageareal. Bygninger i lavenergiklasse 2, 1 og 0, svarer til hhv. 25 %, 50 % og 75 % mindre energibehov, sammenlignet med bygninger der netop opfylder minimumskravet i BR 2008. Lavenergiklasse 0 er ikke nævnt i BR 2008, men den forventes tilføjet i løbet af 2008.

	Energiramme	Normgivende	Reduktion
Boliger	$(70 + \frac{2200}{A}) \text{ kWh/m}^2 \text{ pr. år}$	BR 2008	-
Lavenergiklasse 2	$(50 + \frac{1600}{A}) \text{ kWh/m}^2 \text{ pr. år}$	BR 2010	≈ 25 %
Lavenergiklasse 1	$(35 + \frac{1100}{A}) \text{ kWh/m}^2 \text{ pr. år}$	BR 2015	50 %
Lavenergiklasse 0 (forventet i 2009)	$(17,5 + \frac{550}{A}) \text{ kWh/m}^2 \text{ pr. år}$	BR 2020	75 %
Andre bygninger	$(95 + \frac{2200}{A}) \text{ kWh/m}^2 \text{ pr. år}$	BR 2008	-
Lavenergiklasse 2	$(70 + \frac{1600}{A}) \text{ kWh/m}^2 \text{ pr. år}$	BR 2010	≈ 25 %
Lavenergiklasse 1	$(50 + \frac{1100}{A}) \text{ kWh/m}^2 \text{ pr. år}$	BR 2015	50 %
Lavenergiklasse 0 (forventet i 2009)	$(23,8 + \frac{550}{A}) \text{ kWh/m}^2 \text{ pr. år}$	BR 2020	75 %

Energirammerne omfatter det samlede behov for tilført energi, dog undtaget elforbrug til elektriske apparater og bolig-belysning. Der skal anvendes en faktor 2,5 ved sammenvejning af el med hhv. gas, olie og fjernvarme. Vedvarende energikilder, som f.eks. solvarme, kan medregnes i energirammen (indgår med faktor 0), dvs. ved at anvende VE vil energibehovet blive mindre og det vil derfor være nemmere at overholde energiramme. Det fremgår ovenfor at energirammen for andre bygninger end boliger er en del større end for boliger, hvilket bl.a. skyldes at el-behovet til belysning skal medregnes.

Passivhuse er huse der omtrent svarer til "lavenergiklasse 0", som der altså er lagt op til skal indføres i 2009 og skal være standarden for alle nye fra senest år 2020. Danske passivhuse kan certificeres i Danmark efter den internationale definition, der er fastlagt af det tyske Passivhaus Institut (www.passiv.de). I projektet Komforthusene er der i 2008 ved Vejle opført og certificeret 10 enfamiliehuse i passivhusstandard.

Lavenergibygninger som generelt koncept er først for nylig blevet introduceret i Danmark. BOLIG+ er et koncept for energineutrale boliger. Disse boliger har kun brug for den varme og el, som de selv producerer, svarende til at det totale energibehov er så lavt, så boligerne set

over et år producerer lige så meget energi, som de bruger. BOLIG+ visionen er et vigtigt input i forbindelse med udvikling og udbredelse af lavenergibygninger i Danmark.

Lavenergibygninger i udlandet

Danmark er i relation til krav til bygningers energiforbrug blandt de førende lande i Europa. Vi lavede lavenergibygninger helt tilbage i 1970'erne og har gennem de seneste årtier og frem til midten af 1990'erne været blandt de førende lande indenfor effektiv energianvendelse i bygninger.

De førende lande på lavenergiområdet er nu Tyskland, Østrig, Schweiz og Sverige. Disse lande driver udviklingen indenfor primært rammerne af det såkaldte passivhus koncept, der er en tysk opfindelse. Det første passivhus blev bygget for 15 år siden og siden da er der certificeret ca. 6000 bygninger i primært Tyskland og Østrig, og nu også i Danmark (se ovenfor). Hertil kommer et ukendt antal bygninger, der opfylder passivhus kravene, men som ikke er certificerede. Passivhusene udgør dog fortsat en beskeden andel af nybyggeriet i Tyskland og Østrig (ca. 1-2 %). Danmark er på vej tilbage i førerfeltet, idet vi i forbindelse med EU direktiv vedrørende bygningers energimæssige ydeevne har valgt en relativ offensiv implementering sammenlignet med andre lande.

Passivhuse

Et passivhus er en bygning, der er designet optimalt med henblik på at spare energi. Energiforbruget er så lille, at der ikke er behov for et traditionelt opvarmningssystem og samtidigt er indeklimaet typisk bedre end i almindelige bygninger, da der anvendes et støjsvagt mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding, der kontinuerligt sørger for tilstrækkelig og trækfri tilførsel af frisk udeluft. Passivhuse kan typisk opføres totaløkonomisk omkostningsneutrale, idet sparede udgifter til opvarmningsanlæg og energi kompenserer for ekstra udgifter til isolering mv.

Konceptet omhandlede i starten primært boliger, men efterhånden er konceptet blevet udbredt til andre typer bygninger, hvor det er ligeså anvendeligt. Tyskland har en certificeringsordning for passivhuse og for bygningskomponenter egnet for passivhuse.

Definitionen på et passivhus er følgende for 40-60° nordlig bredde (dvs. DK):

Energiforbrug til rumopvarmning og køling begrænset til 15 kWh/m² pr. år.
Totalt energiforbrug til alle elektriske apparater, varmt brugsvand, rumopvarmning og køling begrænset til 120 kWh/m² pr. år.

Hvor energiforbruget er pr. m² boligareal, dvs. det indvendige boligareal ekskl. indvendige vægge.

Beregning af energiforbruget for passive huse foretages via en særlig udviklet bygningsmodel og program (PHPP), der benytter særlige forudsætninger, hvoraf nogle er betydeligt forskellige fra typiske danske forudsætninger. Det gælder anvendelse af nettoboligareal i stedet for bruttoetageareal og anvendelse af et lavere internt varmetilskud for boliger på kun 2,1 W pr. m² indvendigt boligareal i stedet for 5 W pr. m² udvendigt etageareal, som benyttes for boliger i DK. Desuden benyttes en lidt mindre ventilationsrate.

Et typisk parcelhus på 150 m², der netop opfylder kravet til passivhuse om et energibehov til rumopvarmning på 15 kWh/m² ved brug af tyske beregningsbetingelser og programmet

PHPP, kan med brug af danske beregningsbetingelser og programmet Be06 (SBI anvisning 213) beregnes til ca. 10 kWh/m^2 ¹³. Energibehovet til bygningsdrift for et sådan hus er typisk ca. 30 kWh/m^2 , som kan sammenlignes med de danske lavenergiklasser (klasse 1 < $42,4 \text{ kWh/m}^2$). Derved kan konkluderes, at passivhuse er noget bedre end lavenergiklasse 1 huse og svarer omtrent til den forventede nye "lavenergiklasse 0".

Ideen med et passivhus er at det beskedne energibehov til rumopvarmning kan leveres ved at eftervarme ventilationsluften før det tilføres de enkelte rum. Under forudsætning af en luftmængde på $30 \text{ m}^3/\text{h}$ pr. person, 30 m^2 boligareal pr. person og en tilladelig temperaturforøgelse af udeluftens temperatur efter varmeveksleren på højst 30 K , kan beregnes en maksimal varmeeffekt på 10 W/m^2 boligareal, som er uafhængig af udeklimaet. Det vil sige at det dimensionerende varmetab højst må være 10 W/m^2 boligareal eller $1-1,5 \text{ kW}$ for typiske enfamiliehuse. Dette effektbehov kan typisk opnås ved:

Højisolering af klimaskærmen, herunder minimering af kuldebroer
Vinduer med bedre energitilskud og med optimalt areal og orientering
Forbedret lufttæthed af klimaskærmen
Mekanisk ventilation med effektiv varmegenvinding og ventilatorer
Kompakt bygningsdesign

I tabellen nedenfor, er anført varmetabskrav for passivhuse og typiske værdier for et typisk dansk hus opført efter Bygningsreglement 2008. U-værdi angivelser i parentes angiver ønskelige værdier.

Egenskab	Passivhus standard	Typisk dansk hus
U-værdi ydervæg	$\leq 0,15$ ($\leq 0,10$)	0,20
U-værdi tag	$\leq 0,15$ ($\leq 0,10$)	0,15
U-værdi terrændæk	$\leq 0,15$ ($\leq 0,10$)	0,15
U-værdi vinduer/døre	$\leq 0,80$	1,50
Lufttæthed ved 50 Pa [h^{-1}]	$\leq 0,6$	$\leq 2,8$ ¹

¹ Baseret på lufttæthedskrav på $1,5 \text{ l/s/m}^2$, en rumhøjde på $2,4 \text{ m}$ og et netto/brutto arealforhold på $0,8$.

Passivhus standarden er især bedre med hensyn til varmetab fra ydervægge, vinduer/døre og lufttæthed. Det skal bemærkes at angivelse af vinduers varmetab alene, ikke er fuldt dækkende for deres energimæssige egenskaber, da vinduer også giver et solenergitilskud til huset. Der bør derfor fokuseres på energitilskud (soltilskud – varmetab) i forbindelse med udvikling af bedre vinduer.

¹³ Jf. Artiklen: Hvad er et dansk passivhus ? Ellehauge & Kildemoes, 11. November 2008.
<http://www.altompassivhuse.dk/download/passivhusartikel3.pdf>

Bilag B: Low Energy (Responsive) Building Concepts

By Per Heiselberg, Aalborg University

Introduction

Energy use for room heating, cooling and ventilation accounts for more than one third of the total, primary energy demand in the industrialized countries, and is in this way a major polluter of the environment. To successfully achieve the targets set out in the Kyoto protocols it is necessary to identify innovative energy technologies and solutions for the medium and long term which facilitates the implementation and integration of low carbon technologies, such as renewable energy devices, within the built environment. Deployment of low carbon technologies still faces major barriers in the built environment especially in relation to costs, building logistics, technological challenges, lack of understanding and knowledge and absence of requisite skills.

Research into building energy efficiency over the last decades has focused on efficiency improvements of specific building elements like the building envelope, including its walls, roofs and fenestration components (windows, daylighting, ventilation, etc.) and building equipment such as heating, ventilation, cooling equipment and lighting. Significant improvement have been made, and most building elements still offer opportunities for efficiency improvements.

But the greatest future potential lie with technologies that promote the integration of responsive building elements with the building services and renewable energy systems. Responsive in this context means ability to dynamically adjust physical properties and energetic performance according to changing demands from indoor and outdoor conditions. This ability could pertain to energy capture (as in window systems), energy transport (as air movement in cavities), and energy storage (as in building materials with high thermal storage capacity).

With the integration of responsive building elements, building services and renewable energy systems, building design completely changes from design of individual systems to integrated design of responsive building concepts, which should allow for optimal use of natural energy strategies (daylighting, natural ventilation, passive cooling, etc.) as well as integration of renewable energy devices.

Definition of Terms

Responsive Building Elements are defined as building construction elements which are actively used for transfer and storage of heat, light, water and air. This means that construction elements (like floors, walls, roofs, foundation etc.) are logically and rationally combined and integrated with building service functions such as heating, cooling, ventilation and lighting. The development, application and implementation of responsive building elements are considered to be a necessary step towards further energy efficiency improvements in the built environment. Examples include:

Facades systems (ventilated facades, double skin facades, adaptable facades, dynamic insulation)

Foundations (earth coupling systems, embedded ducts)

Storages (active use of thermal mass, core activation for cooling and heating, application of phase change materials (PCM))

Roof systems (green roof systems)

Responsive Building Concepts are design solutions of optimized responsive building elements, building services systems and energy-systems integrated into one system to reach an optimal environmental performance in terms of energy performance, resource consumption, ecological loadings and indoor environmental quality. It follows that responsive building concepts are design solutions:

that maintain an appropriate balance between optimum interior conditions and environmental performance by reacting in a controlled and holistic manner to changes in external or internal conditions and to occupant intervention

that develop from an integrated multidisciplinary design process, which optimises energy efficiency and includes integration of human factors and architectural considerations.

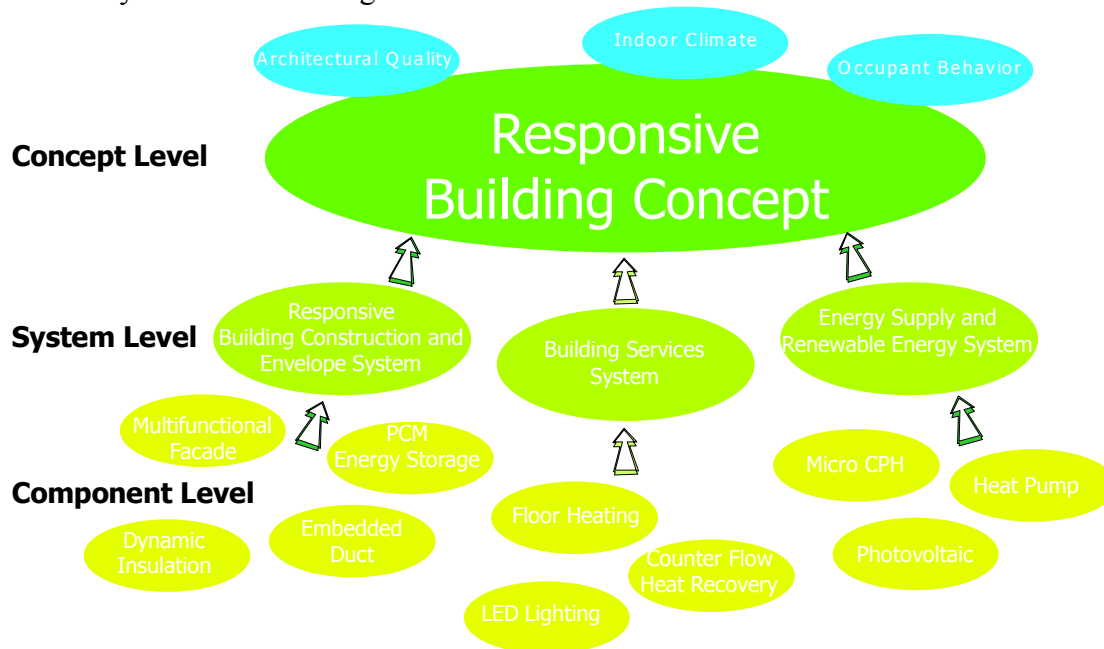


Figure 1. Illustration of the Responsive Building Concept.

Integrated Building Concepts are a whole building concept that includes all aspects of building construction (architecture, facades, structure, function, fire, acoustics, materials, energy use, indoor environmental quality, etc...). It consist of three parts, (Heiselberg et al. 2006):

the architectural building concept,
the structural building concept and
the responsive building concept

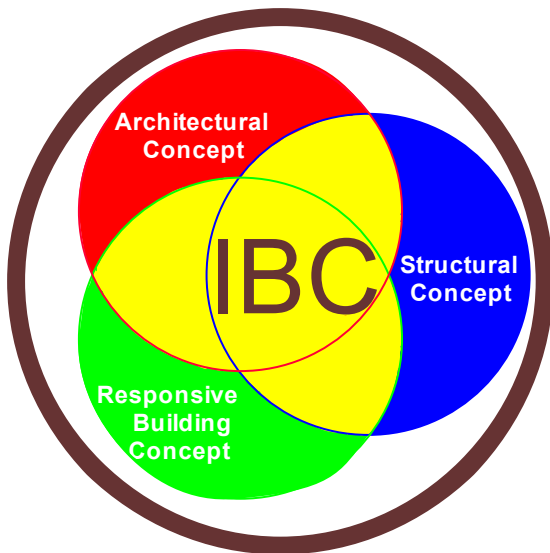


Figure 2. Illustration of the Integrated Building Concept.

These three concepts correspond to the three different main professions involved in building design and each concept is developed in parallel by the three professions using their own set of methods and tools - but in an integrated design process leading to an integrated solution – the Integrated Building Concept.

Integrated Building Design is a design process where design teams consisting of architects, engineers and other consultants develop the building design in an iterative process from the conceptual design ideas to the final detailed design. Building energy use as well as the size of HVAC and energy systems are reduced without the use of sophisticated technologies, but only through an effective integration of the architectural, structural, HVAC and energy designs. The integrated design approach achieves this improved energy utilisation due to the relationship that exists between the building structure, its architecture, the HVAC systems and the renewable energy systems. Besides this the integrated design approach typically also achieves an improvement in the environmental performance of the building, as well as fewer construction problems and lower costs

Environmental performance comprises energy performance with its related indoor environmental quality (IEQ) as well as energy related resource consumption, ecological loadings

Rationale for Application of Responsive Building Concepts

Integration of responsive building elements, building services systems and energy systems in responsive building concepts have a number of important advantages:

Integration of responsive building elements with building services systems and energy systems will lead to substantial improvement in environmental and operating cost performance.

It enhances the use and exploits the quality of energy sources (exergy) and stimulates the use of renewables and low valued energy sources (like waste heat, ambient heat, residual heat etc.)

It will further enable and enhance the possibilities of passive and active storage of energy (buffering)

Responsive by exploiting the dynamic fluctuations of the environment to maximize the human coexistence with nature, to create higher productivity and a healthier, sensing and refreshing space, etc. (architectural)

In a responsive building concept an optimum must be found between the, sometimes contradictory requirements from energy use, health and comfort. From the viewpoint of human coexistence with nature the approach is to make buildings “open” to the environment and to avoid barriers between indoors and outdoors, while from the viewpoint of energy savings the approach for certain periods is to exclude the buildings from the environment. The transition between indoors and outdoors herewith becomes a more or less hybrid zone where the energy gains are not only rejected, but are stored, tempered, admitted or redirected, depending on the desired indoor conditions, see figure 4.

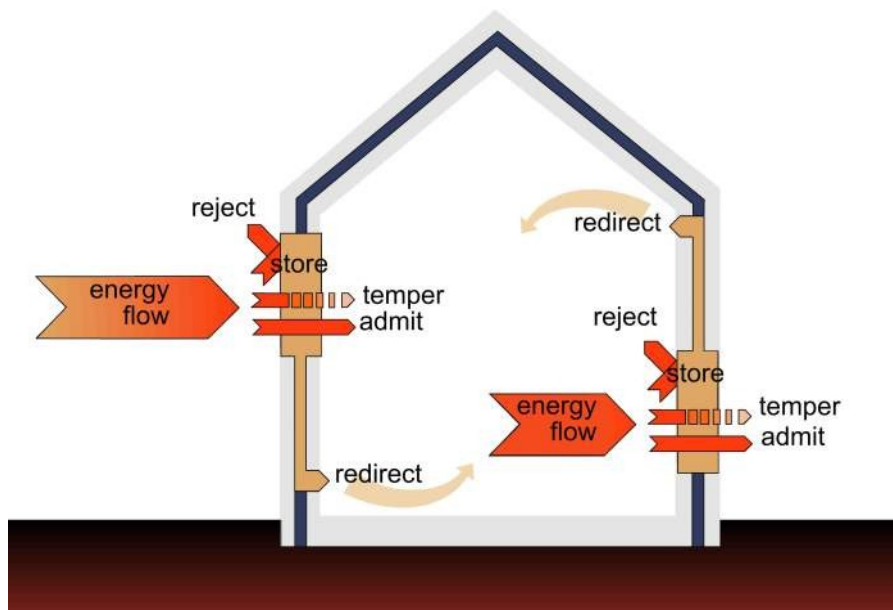


Figure 4.

Climatic design principles are essential to achieve an optimum responsive building concept. Climatic design is the art and science of using the beneficial elements of nature – sun, wind, earth and air temperature, plants and moisture – to create comfortable, energy-efficient and environmentally wise buildings. The desirable procedure is to work with, not against, the forces of nature and to make use of their potentialities to create better living conditions. The principles of climatic design derive from the requirement for creating human comfort in buildings using the elements of the natural climate. Perfect balance between natural resources and comfort requirements can rarely be achieved, except under exceptional environmental circumstances, and the climatic design will vary throughout the year depending upon whether the prevailing climatic condition is “underheated” compared to what is required for comfort (i.e., as in winter) or “overheated” (i.e., as in summer).

In this respect responsive building elements are essential technologies for the exploitation of the environmental and renewable energy resources and in the development of responsive building concepts the challenge is to achieve an optimum combination of responsive building elements and integration of these with the building services systems and renewable energy systems to reach an optimal environmental performance.

Nowadays we have access to advanced and improved building materials, but above all, are able to measure and control the performance of buildings, building services and energy systems with an advanced building management systems (BEMS). These BEMS offer buildings and building components “intelligence”. Based on changing indoor or outdoor conditions responsive building elements can be directed by the BEMS to change there physical performance. This opens a new world of opportunities. Buildings no longer act as ridged objects that need a large heating installation in winter and big cooling equipment during summer to “correct” the indoor climate, but buildings become an additional “living” skin around occupants, keeping them in contact with nature, but at the same time protected when necessary.

Classification of Responsive Building Concepts

The purpose of classification of Responsive Building Concepts is to define/specify the concept according the most important issues. A “Responsive Building Concept” can be classified according to the following categories and parameters:

Table 1. Categories and parameters for classification of Responsive Building Concepts

Category	Parameter
Climate	Cold, moderate, warm, hot-dry, hot humid, ...
Context	Urban, suburban, rural
Building use	Office, school, residential, ...
Building type	High-rise, low-rise, row-houses, single houses, multifamily buildings, ...
Demand reduction strategies	Thermal insulation, air tightness, buffering, reduction of heat and contaminant loads, building form, zoning, demand control, efficient air distribution, solar shading, ..
Control strategy	Natural mechanism, adaptive/rigid, user control/automatic
Responsive building elements	Multifunctional facades,
Building Services systems	
Renewable energy technologies	Passive and active solar heating, wind, natural cooling, geothermal heat/cool, biomass, daylighting, natural ventilation,..
Efficient energy conversion	CHP, HE gas boiler, heat pump, ...

Description of Typical Strategies and Solutions

In the development of existing energy efficient building concepts the main focus has typically been on application of only a few of the available technical solutions. Examples are:

The “Passive House” concept which mainly focuses on super insulated and air tight envelopes combined with high efficiency heat recovery and passive solar heating.

The “Solar House” concept which mainly focuses on utilization of renewable energy technologies such as passive and active solar heating and solar cells

The “Smart House” concept which mainly focuses on advanced solutions for demand control and efficient control of fossil fuel technologies

The “Adaptive Building” concept in which building elements actively respond to changing climate conditions and indoor environmental conditions as required by the occupants

These concepts are clearly the result of a sub-optimization by an expert in either building physics, renewable energy or control engineering.

The Responsive Building Concepts can be considered as design solutions which are optimum combinations of the existing concepts by integration of the full range of technical solutions into one system. The main difference between responsive building concepts and other energy-efficient building concepts is the application of responsive building elements and their integration with building services systems and energy systems.

Design Strategy

Design Strategy and boundary conditions

As in the classical design approach a sustainable design should start with an thorough analysis of the environmental conditions and determine the beneficial environmental design conditions as location of the building, sheltering, optimal orientation, solar and wind optimization and protection, ground coupling possibilities etc. This mostly takes place in relation to the architectural and esthetical design considerations, but is the first step in achieving an more energy saving design.

Next to it, the aimed for inner conditions as comfort requirements and IAQ need to be considered. Fixed and uniform conditions as stated in the last decades can be transformed in adaptive conditions, related to the place, function, time and activity in the building. Also the consideration to go local climates can lead to a large energy saving potential.

Design Strategy and Technical Solutions

In order to reach an integrated design solution and develop a Responsive Building Concept it is necessary to define and apply a certain design strategy. A design strategy should be based on the method of the “Kyoto Pyramid”, see figure 12.

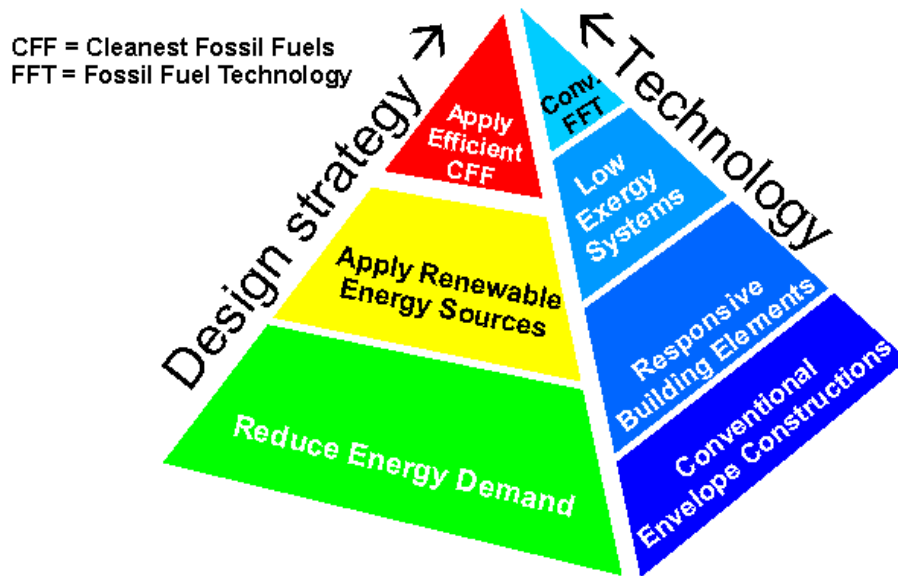


Figure 12. Illustration of Annex 44 Design Strategy and corresponding Technologies

The *Kyoto Pyramid* (KP) is a strategy that has been developed for the design of low energy buildings in Norway, (Dokka and Rødsjø, 2005). It is based on the Trias Energetica method described by Lysen (1996). The left side of the pyramid shows the design strategies, and the right side of the pyramid shows the technical solutions that may be applied in each of the steps. The figure clearly positions the responsive building elements as a technology that falls in the first step “reduction of energy demands” as well as in the second step “application of renewable energy sources”.

In an integrated design strategy, you start at the bottom of the pyramid, applying the strategies and technologies as follows:

1. Reduce Demand

Optimize building form and zoning, apply super insulated and air tight conventional envelope constructions, apply efficient heat recovery of ventilation air during heating season, apply energy efficient electric lighting and equipment, ensure low pressure drops in ventilation air paths, etc.

Apply Responsive Building Elements if appropriate including advanced façades with optimum window orientation, exploitation of daylight, proper use of thermal mass, redistribution of heat within the building, dynamic insulation, etc.

2. Utilize renewable energy sources

Provide optimal use of passive solar heating, daylighting, natural ventilation, night cooling, earth coupling. Apply solar collectors, solar cells, geothermal energy, ground water storage, biomass, etc. Optimise the use of renewable energy by application of low exergy systems.

3. Efficient use of fossil fuels

If any auxiliary energy is needed, use the least polluting fossil fuels in an efficient way, e.g. heat pumps, high-efficient gas fired boilers, gas fired CHP-units, etc. Provide intelligent control of system including demand control of heating, ventilation, lighting and equipment

The main benefit of the method is that it stresses the importance of reducing the energy load before adding systems for energy supply. This promotes robust solutions with the lowest possible environmental loadings.

The above mentioned approaches are illustrated in the following figures.

Figure 4 shows the integration of high efficient services and renewable energy resources into low energy architectural design. These three approaches had been discussed in each professional field separately but it is a good example of integration to consider them as corresponding to one another and concurrently develop them in the early design stage.

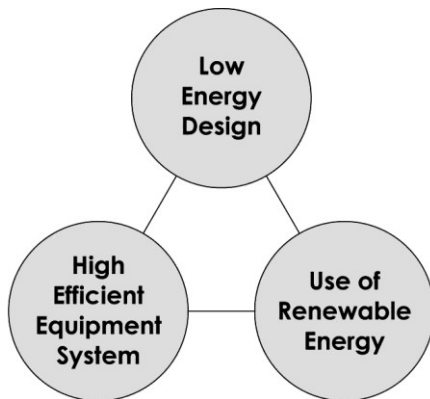


Figure 4. Integration of Design, Technology and Renewable energy

Creative integrations of design and advanced technology are required along with flexible and innovative design methodology. Figure 5 shows the relation between energy consumption and the evolution of buildings. The first step is to make the equipment (building service) system more efficient. The second step is to convert conventional energy source into a renewable energy source. In the third step, the building itself comes to be a target of design and the concept of low energy design is introduced. Other commonly used terms for low energy design include: passive design, bioclimatic design, etc. These designs have the same features as those of vernacular buildings that depend little on energy to control indoor climate.

Incidentally, the low energy design of today is based on much advanced scientific knowledge and technologies and is supported by sophisticated design tools based on various computer simulation techniques. The advanced low energy design should be collaborated with new advanced building service technologies and advanced utilization system of renewable energy. Therefore, this is a new step in the next stage of integration concept toward responsive buildings in the future.

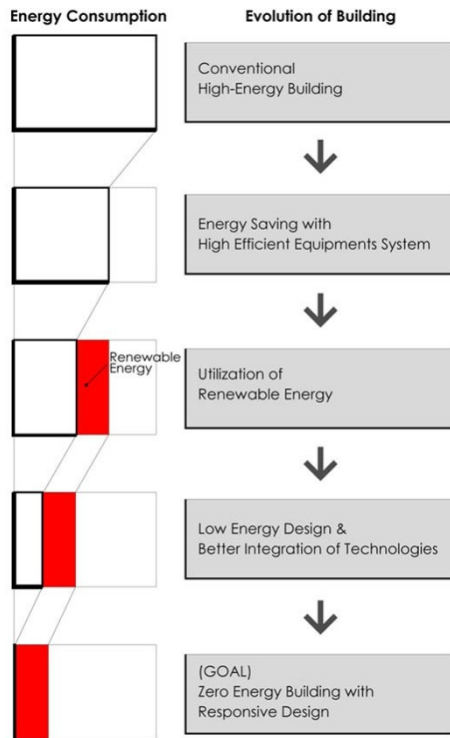


Figure 5. Energy Consumption and Evolution of a Building
Application of the Design Strategy

Application of the strategy in the conceptual and preliminary design stage heating, cooling, lighting and ventilation of buildings can be accomplished in the following way, see figure 13.

Step 1: Basic Design

In the first stage of the design the focus primarily is on the reduction of demands for heating, cooling, lighting and ventilation.

Step 1A in reduction of demands: reducing internal heat loads and optimization of daylighting
Priority in this is the reduction of internal and external heat loads. The internal heat loads can be reduced by the use of energy saving equipment as computers, copiers etc and by installing energy saving electric lighting. Most effective in this is the maximizing the daylight autonomy of rooms and thus reducing the energy use for electric lighting. As the efficacy of daylight is much higher than artificial light this counts both for reduction of electric energy consumption for lighting as for reducing the energy consumption for cooling.

Step 1B in reduction of demands: reducing the heating, cooling and ventilation energy

The next step is to find an optimum in reducing the heating and cooling gains by an optimal surface to volume ratio, zoning, shading, insulation level and a demand controlled ventilation level. A special effort is required when applying long term heat storage. In that case heating and cooling gains over a year need to be tuned to each other to avoid long term imbalance. Decisions at the first step determine the size of the heating, cooling and lighting loads and good fabric design is essential for minimising the need for services. Poor decisions at this point can easily double or triple the size of the mechanical equipment needed. Where appropriate, designs should avoid simply excluding the environment, but should respond to

factors like weather and occupancy and make good use of natural light, ventilation, solar gains and shading, when they are beneficial.

At an early stage, it should be possible to modify the design to reduce the capacity, size and complexity of the building services, which can reduce the capital cost of the services without having to remove features from the design.

Step 2: Design of passive energy optimization

The second step involves the optimisation of natural and “free” gains from sun, wind and thermal storage. This is being done with direct solar gains, free cooling, thermal mass application and natural ventilation. Effective functioning of these measures directly relates to the outdoor climate as available wind and sun conditions, day-night rhythm and earth temperature. Proper decisions at this point can greatly reduce the loads as they were created during the first step leading to the wanted reduction in size and complexity of the building services.

Step 3: Integrated system design and application of responsive building elements

Step 3 contains the design of integrated systems with responsive building elements. In this step the activation of building elements by building services enhances the further employment of building components. Energy gains in building elements are actively controlled by changing and influencing the physical behaviour and properties of the building components. Examples of the performance of these Responsive building elements are further described in detail in chapter...

Step 4: Design of low exergy mechanical systems

To realise the comfort conditions required, mechanical systems for heating, cooling, lighting and ventilation are applied to handle the loads that remain from the combined effect of the previous steps. To enhance the application of renewable energy sources priority lies with low exergy mechanical systems. This counts for the energy generation part, the energy distribution part and the energy delivery part of the mechanical systems. Hereby a tuning of generation, distribution and delivery is crucial to reach an efficient and optimal performance.

Step 5: Efficient design of conventional mechanical systems

Step five consists of designing the (conventional) building services. Herewith it is important to ensure that the services operate in harmony without detrimental interaction or conflict. Many energy problems can be traced to a conflict between building services and many conflicts between services are control issues. An energy efficient design strategy should avoid this and the underlying reasons for conflict should be identified and eliminated to prevent carrying a flawed design forward. It is not a good policy to hope that the control system will resolve the conflicts.

Step 6: Advanced control (Integrate into step 3, 4 and 5)

Definitely more than in the past the control of the energy gains is crucial to come to a proper and efficient operation of the building and to reach an optimal energy efficiency. The systems therefore needs to be fed with the design considerations and must be able to tune to the different external and internal climate conditions and the comfort requirements of the building

occupants. Advanced sensor techniques together with sophisticated control algorithms are still under development and need further improvement.

	Heating	Cooling	Lighting	Ventilation
<i>Step 1</i>	<i>Conservation</i>	<i>Heat Avoidance</i>	<i>Daylighting</i>	<i>Source Control</i>
Basic Design	<ol style="list-style-type: none"> 1. Surface to volume ratio 2. Zoning 3. Insulation 4. Infiltration 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Façade Design 2. Solar Shading 3. Insulation 4. Internal heat gain control 5. Thermal mass 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Room height and shape 2. Zoning 3. Orientation 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Surface material emissio 2. Zoning 3. Local exhaust 4. Location of air intake
<i>Step 2</i>	<i>Passive Heating</i>	<i>Passive Cooling</i>	<i>Daylight Optimization</i>	<i>Natural Ventilation</i>
Climatic Design	<ol style="list-style-type: none"> 1. Direct solar heat gain 2. Thermal storage wall 3. Sunspace 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Free cooling 2. Night cooling 3. Earth cooling 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Windows (type and location) 2. Glazing 3. Skylights, light-wells 4. Light shelves 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Windows and openings 2. Atria, stacks 3. Air distribution
<i>Step 3</i>	<i>Application of Responsive Building Elements</i>	<i>Application of Responsive Building Elements</i>	<i>Daylight Responsive Lighting Systems</i>	<i>Hybrid Ventilation</i>
Integrated System Design	<ol style="list-style-type: none"> 1. Intelligent facade 2. Thermal mass activation 3. Earth coupling 4. Control strategy 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Intelligent facade 2. Thermal mass activation 3. Earth coupling 4. Control strategy 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Intelligent façade 2. Interior finishes 3. Daylight control strategy 4. ... 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Building integrated ducts 2. Overflow between rooms 3. Control strategy 4. ...
<i>Step 4</i>	<i>Low Temperature Heating System</i>	<i>High Temperature Cooling System</i>	<i>High Efficiency Artificial Light</i>	<i>Low Pressure Mechanical Ventilation</i>
Design of Low Exergy Mechanical Systems	<ol style="list-style-type: none"> 1. Application of renewable energy 2. Floor/wall heating 3. ... 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Application of renewable energy 2. Floor/wall cooling 3. ... 	<ol style="list-style-type: none"> 1. LED 2. ... 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Efficient air distribution 2. Low pressure ductwork, filtration and heat recovery 3. Low pressure fan 4. ...
<i>Step 5</i>	<i>Heating System</i>	<i>Cooling System</i>	<i>Artificial Lighting</i>	<i>Mechanical Ventilation</i>
Design of Conventional Mechanical Systems	<ol style="list-style-type: none"> 1. Radiators 2. Radiant panels 3. Warm air system 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cooled ceiling 2. Cold air system 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lamps 2. Fixtures 3. Lighting control 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Efficient air distribution 2. Mech. exhaust 3. Mech. ventilation

Figure 6. Typical design considerations at each design stage.

The heating cooling, lighting and ventilation design of buildings always involves all steps whether consciously considered or not. As mentioned before, minimal demands have in the recent past been placed on the building itself to affect the indoor environment. It was assumed that it was primarily the engineers at the third step which were responsible for the environmental control of the building. Thus architects, who were often indifferent to the heating and cooling needs of buildings, sometimes designed buildings with large glazed areas for very hot or very cold climates, and the engineers would then be forced to design giant heating and cooling plants to maintain thermal comfort. On the other hand, when it is consciously recognized as in an integrated design process that each of these steps is an integral part of the heating, cooling, lighting and ventilation design, better buildings result.

The buildings are better for several reasons. They are often less expensive because of reduced mechanical equipment and energy needs. Frequently they are also more comfortable because the mechanical equipment does not have to fight such giant loads. Buildings and services are often responsive to the needs of the occupant and therefore generally more successful in achieving comfort, acceptability and efficiency. Occupants usually prefer some means of altering their own environment while management will require good overall control of systems.

Design Methods and Tools

In order to facilitate this design approach different types of design methods and tools that based on the selected design strategy makes it possible in a strategic way to select the most suitable technical solutions for the specific building and context.

5 main categories of design methods and tools can be identified: design process methods/tools, design strategy methods/tool, design support methods/tools, design evaluation methods/tools, and simulation tools.

The *design process methods/tools* gives guidelines on how to organise the work process itself, i.e. who should take care of what tasks at what stages of the development and design of an Integrated Building Concept. It is necessary that the methods allow for consideration and solution of technical as well as aesthetical problems and that it focuses on the creative element in the process, in order to identify new opportunities and to work strategically in creating innovative solutions in a new building design.

The *design strategy methods/tools* are concerned with what issues should be considered at different stages of the development of an Energy and Environmental Building Concept.

The *design support methods/tools* are typically used in the early stages of the design to get an idea of what approaches and technical solutions are the most promising for the given project and should be included in the developed Energy and Environmental Building Concept.

The *design evaluation methods and tools* are typically used later in the design process to check the performance of a given design concept and technical solutions.

Simulation tools are used in all stages of design in order to predict the performance of the building and technical systems. Computer simulation tools for predicting energy use, indoor environmental quality and impact on the environment are typically used as basis in the different categories of

design methods. In fact, in order to succeed in creating effective integrated building concept, it is often very useful to apply advanced computer simulation tools even in the early design stages.

There are no sharp borders between the different types of design methods and tools. For example, the design support methods and tools may in some cases also be used as design evaluation methods and tools, and vice versa.

References

Dokka, T.K. and Rødsjø, A. (2005). Kyoto Pyramiden. www.lavenergiboliger.no.

Lysen, E. H. (1996), "The trias energetica: Solar energy strategies for Developing Countries" *Eurosun Conference*, Freiburg, Germany.

Heiselberg, P., Andresen, I., Perino, M., van der Aa, A. Integrating Environmentally Responsive Elements in Buildings. *Proceedings of the 27th AIVC Conference, November 20-22, Lyon, France*.

Heiselberg, P. Responsive Building Concepts – Expert Guide Part 1. IEA-ECBCS Annex 44 Final Report, (Draft version), Aalborg University.

Bilag C: Bygningsisolering

Skærpede energikrav til bygninger energibehov og dermed til isoleringsstandarden, betyder, at der vil komme større fokus på bedre isoleringsmaterialer, som en oplagt mulighed for at opfylde energi- og øvrige funktionskrav i form af f.eks. løsning af problematik vedr. tykke ydervægge og arealforbrug. Der er derfor udarbejdet en oversigt over forskellige isoleringsmaterialers overordnede egenskaber og fordele og ulemper. Den er udarbejdet af DTU Byg med input fra netværkets deltagere. I bilagets sidste del er de forskellige isoleringsmaterialers varmeledningsevne mm resumeret, og der er vist en oversigt over producenter og forhandlere.

Mineraluld

Mineraluld er baseret på naturlige materialer som sten og glas. Mineraluld fremstilles ved at sten og glas knuses og råmaterialet omsmeltes til isoleringsmåtter mm af enten stenuld og glasuld. Mineralulden indeholder en specielt udviklet fiberstruktur, som først og fremmest isolerer godt i kraft af den stillestående luft, som er imellem fibrene i isoleringen. Fiberstrukturen gør også isoleringen robust og praktisk at anvende. Isoleringen har endvidere en vandvisende og brandhæmmende effekt. Mineraluld kan klare en belastning på op til 30 kPa. Den deklarerede varmeledningsevne ligger i intervallet 0,032 – 0,040 W/mK afhængig af anvendelse og kvalitet. I almindelighed svarer den deklarerede værdi til designværdien, hvilket i øvrigt gælder de andre isoleringsmaterialer, der omtales i dette notat.

Polystyren

Polystyren er et termoplastisk celleplastmateriale. Der findes to forskellige typer; ekspanderet polystyren (EPS), også kendt under navnet "Flamingo", og ekstruderet polystyren (XPS). XPS er et andet termoplastisk celleplastmateriale, hvor produktionsteknikken adskiller sig principielt fra produktionsteknikken for EPS-produkter. Produktion af XPS-produkter finder ikke sted i Danmark. Polystyren er kendetegnet ved stor trykstyrke og har en kapillarbrydende effekt. Polystyren er derfor velegnet, når der stilles krav til trykstyrke og lav fugtoptagelse, f.eks. i terrændæk, kælderydervægge, fundamenter og flade tage. Den lave vægt, der kendetegner EPS-isoleringsmaterialet, gør det nemt at håndtere på arbejdspladsen. Materialet kan bearbejdes med almindeligt håndværktøj. Polystyren kan fås med trykstyrke på helt op til 500 kPa/175 kPa (korttids-/langtidslast). Den deklarerede varmeledningsevne ligger i intervallet 0,034 – 0,041 W/mK afhængig af anvendelse og kvalitet. Varmeledningsevnen for EPS-isolering er altså stort set den samme som for mineraluld.

Polyurethan

Polyurethan forkortes PUR. PUR fremstilles med meget store variationer i både massefylde og stivhed. Stift PUR anvendes inden for køle/frysesektoren, fjernvarmerørssektoren og til bygninger i form af sandwichelemeneter og -blokke, vinduesprofiler samt isolering af varmtvandsbeholdere, ventilationsaggregater m.m. Varmeledningsevnen afhænger primært af hvilken gas der anvendes i produktionen. Det er teknisk muligt at opnå værdier ned til 0,019 W/mK, men i dag anvendes overvejende cyclopentan, hvilket giver en lidt højere værdi. PUR findes med en deklareret varmeledningsevne på op til 0,035 W/mK, men ligger typisk i intervallet 0,019 – 0,035 W/mK. Beregningsmæssigt skal der regnes med et tillæg for ældning og fugtforhold, der afhænger af anvendelse og land.

Celleglas

Celleglas produkter består udelukkende af glas og kul, så det er stabilt i konstruktioner, det bevarer isoleringsevnen og har en varmeudvidelseskoefficient, der er forenelig med stål og beton. Celleglas anvendes som isolering, hvor der stilles ekstraordinære krav til fugttekniske egenskaber og ikke mindst trykstyrke. Celleglas fås med trykstyrke på helt op til 1600 kPa. Det er særlig egnet i kompakte konstruktioner, hvor der er krav om vand- og damptæthed, samt hvor kemikalieresistenshed er et krav, som i den "våde" industri indenfor tekstil- og papirbranchen - samt syrebelastede gulve i bryggerier, slagterier og mejerier. Celleglas er et højkvalitetsprodukt med en varmeledningsevne på niveau med traditionel isolering. Den deklarerede varmeledningsevne ligger i intervallet 0,038 - 0,050 W/mK afhængig af anvendelse og styrkekrav. Celleglas er et dyrt produkt, og det anvendes derfor fortrinsvis i specielle konstruktioner som frysehuse og parkeringsdæk. Celleglas vil potentielt være en god lavenergiløsning, som terrændækisolering og kuldebroafbryder i mere almindelige bygninger i forbindelse med tungt belastede konstruktioner.

Letklinker

Letklinker i form af primært blokke og løse letklinker anvendes til isolering af særligt fundamenter og terrændæk. Letklinker er et dansk naturprodukt fremstillet af en speciel plastisk og kalkfattig lerart. Letklinker produkter findes i form af mur- og fundamentsblokke, vægelementer, dækelementer og løse letklinker. Letklinkers isolerende egenskaber udnyttes primært i form af blokke i fundamenterens øvre del og som løse letklinker i terrændæk. Den typiske deklarerede varmeledningsevne for letklinkerblokke er 0,17 W/mK for blokke med densitet på 600 kg/m³ og 0,24 W/mK ved 800 kg/m³, mens varmeledningsevnen for løse letklinker er 0,076 W/mK for den "lette" type (typisk anvendt), mens den er 0,085 W/mK for letklinker til anvendelser med lidt større belastninger (nyttelast > 5 kPa). Middeltrykstyrken for løse letklinker er op til 780 kPa.

Porebeton- og teglblokke

Ydervægskonstruktioner kan udføres som massive vægge ved opmuring af vægtykke blokke i porebeton eller porøs tegl. En massiv ydervæg kan udføres med omtrent samme varmetab som f.eks. en traditionel hulmur med mineraluld. Varmeledningsevnen for de to materialer er ca. 0,11-0,12 W/mK. Teglblokkene kan dog fås med varmeledningsevne ned til 0,08 W/mK, når blokkene er fyldt med ekspanderet perlit. Isoleringsevnen er konstant, da luft i porerne er indkapslet, og der er således ikke risiko for utilsigtede konvektionstab. Højisolerede konstruktioner kræver store materialetykkelser med porebetonblokke eller porøse teglblokke. Erfaringer fra udlandet viser at meget tykke massive ydervægge i porebeton er problematiske.

Silica Aerogel

Silica aerogel er et translucent isoleringsmateriale, der foruden en god isoleringsevne, også har gode optiske egenskaber. Materialer tillader transmittans af betydelige mængder lys og varme. Materialet er et meget porøst materiale, som ved en porøsitet på 90 % har en typisk varmeledningsevne på varmeledningsevne på 0,020 W/mK. Materialet er interessant at anvende i ruder, da materialet hensigtsmæssigt kan placeres beskyttet imellem to lag glas. Med 20 mm af materialet placeret mellem to lag glas og evakuering af ruden til et groft vakuum, kan der opnås en U-værdi på 0,5 samtidig med en solenergitransmittans på 0,7.

Reflektiv isolering

Reflektiv isolering bygger på refleksion i stedet for stillestående luft. Reflektiv isolering fås typisk i måtter af ca. 6 mm tykke plastfolier med luftfyldte blærer og reflektiv metalbelægning på begge sider, der reflekterer varmestråling på overfladerne. For at folierne kan virke optimalt, skal der imidlertid være ca. 10-15 mm's fri passage eller mellemrum på begge sider af måtterne. Reflektiv isolering kan også fungere som dampspærre, hvilket kan være en fordel i visse situationer, men en ulempe i andre. Isoleringsevnen er ofte anført til 130-200 mm mineraluld.

En kontrol af produktdokumentation viser at det er mest sandsynligt, at de ”optimistiske” vurderinger af den reflektive isolerings overraskende gode isoleringsegenskaber beror på misforståelser og forkert fortolkning af måleresultater. En konkret prøvning har vist at den reelle isoleringsevne i heldigste tilfælde, dvs. hvor begge sider af folien har strålingsudveksling over et hulrum, svarer til ca. 30-50 mm mineraluld. Isoleringsevnen svarer til 6-7 mm mineraluld, når folien er klempt som dampspærre mellem to materialer, eller svarende til isoleringsevnen for traditionelle isoleringsmaterialer.

Dansk Standard har i 2005 udsendt et tillæg 1 til DS 418, der specielt vedrører beregning af konstruktioner, hvori der indgår reflektiv isolering. Det forskrives at for lufttrum begrænset af plane parallelle reflekterende flader beregnes isolansen iht. DS/EN ISO 6946, anneks B. Foretages sådanne beregninger for den omtalte reflektive isolering fås en isolans på 0,4 for hulrum og 0,14 for 6 mm isoleringsmåtte, dvs. i alt $R = 0,94 \text{ m}^2\text{K/W}$, når der er strålingsudveksling over et hulrum på begge sider. Omregnes til ækvivalent tykkelse mineraluld fås ca. 35 mm. Uden hulrum kan isoleringsevnen beregnes til 5 mm. Der er altså god overensstemmelse mellem målinger og beregninger

Vakuumsolering

Vakuumsolering konstrueres af et finkornet materiale anbragt i vakuum i en omsluttende forseglet folie. Alle relevante aspekter af vakuumsolering er behandlet i regi af det Internationale Energi Agentur (IEA), nærmere bestemt under IEA Annex 39 “High Performance Thermal Insulation” (se <http://www.vip-bau.ch/>). Forskningsprogrammet startede i 2001 og sluttede medio 2005, og har ikke haft deltagelse af Danmark.

Teknologien er afprøvet på Teknologisk Institut og forsøg er udført med efterisolering af bygninger. Disse forsøg har vist at det er mulig at opnå en varmeledningsevne på ca. 0,004 W/mK, hvilket er næsten en faktor 10 bedre end traditionel isolering. Dermed kan samme isoleringsevne opnås med en væsentlig mindre konstruktionstykkelse. Der er forskellige udfordringer i anvendelsen af vakuumsolering, idet den er sårbar over for perforeringer og luft diffusion gennem folien, og endelig er prisen relativ høj. Levetidsproblematikken betyder, at det vil være en fordel, hvis materialet kan udskiftes, f.eks. på samme måde som en termorude.

I Tyskland har man erfaringer med anvendelse af vakuumsolering i præfabrikerede klimaskærmselementer. Sådanne anvendelser kræver brug af beslag til understøtning og fastholdelse, som gennembrøder isoleringen og derfor er betydelige kuldebroer. Varmeledningsevnen for vakuumsoleringspaneler produceret i Tyskland er typisk 0,005 W/mK, når de installeres. Da vakuum ikke kan opretholdes over tid skal man dog typisk benytte en designværdi på 0,006 - 0,008 W/mK. Hvis der opstår en defekt forøges varmeledningsevnen til ca. 0,020 W/mK, hvilket dog stadig er omtrent halvdelen af varmeledningsevnen for traditionel isolering.

I ovennævnte IEA-projekt er vurderingen, at vakuumisolering over de næste 5-10 år vil være et dyrere alternativ end traditionelle isoleringsmaterialer med samme isoleringsevne, hvilket også skyldes at traditionelle isoleringsmaterialer forbedres.

Alternative isoleringsmaterialer

Alternative isoleringsmaterialer omfatter i denne sammenhæng halm, hør, hamp, træfibre og papirgranulat samt ekspanderet perlit. Disse materialer er i øvrigt alle dækket af SBI-anvisning 207: "Anvendelse af alternative isoleringsmaterialer". Anvisningen redegøre for egenskaber samt viser konkrete eksempler på, hvordan man i praksis kan bruge alternative isoleringsmaterialer. Derudover foretages en sammenligning med konventionelle isoleringsmaterialer.

I følge den nye anvisning er de alternative isoleringsmaterialer gode alternativer til mineraluld. Imidlertid må de alternative isoleringsmaterialer ikke anvendes ukritisk, og materialernes egenskaber afviger på en række afgørende punkter fra mineraluld. Selvom den nye anvisning demonstrerer, at de alternative materialer har gode anvendelsesmuligheder i byggeriet, understreger den også de alternative isoleringsmaterialers begrænsninger, som primært vedrører at de relativt nemt kan anvendes forkert. Alternative isoleringsmaterialer omtales her ikke yderligere.

Isoleringsmaterialernes varmeledningsevne og andre tekniske specifikationer fremgår af oversigten nedenfor.

Tekniske specifikationer

Nedenfor er vist en oversigt over de væsentligste tekniske specifikationer for bygningsisolering, inkl. såkaldte alternative isoleringsmaterialer.

Isoleringsmateriale	Form	Varmeledningsevne, deklareret værdi (W/mK)	Densitet (kg/m ³)	Trykstyrke (kPa)	Sætning, løst udblæst på loft, %
Stenuld	Måtte / rulle	0,034-0,040	30-45	maks. 30	
	Løsfyld	0,044	30-80	-	5
Glasuld	Måtte / rulle	0,032-0,040	14-25	-	
	Løsfyld	0,044	25-50	-	5
EPS	Plade	0,034-0,041	15-40	60-250	
XPS	Plade	0,034-0,037	-	200-500	
PUR	Plade	0,019-0,035	20-60	420	
Letklinker	Løsfyld, let / nødder	0,076 / 0,085	170 / 210	450-780	
	Blokke (murværk)	0,20 ¹ - 0,29 ¹	500-800	1500-3800	
Porebeton	Blokke (vægtykke)	0,11 ¹	375	2500	
Tegl, porøs	Blokke (vægtykke)	0,080-0,12	600-650	1600	
Celleglas	Plade	0,038-0,050	105-165	400-1600	
Silica aerogel	Plade	0,020	30-300	-	
Reflektiv isolering	Plade	~ 0,029 ²	-	-	
Vakuumsisolering	Plade	0,006-0,008 ³	-	-	
Papir	Løsfyld	0,040	28-65	-	12-24 ⁴
Træfibre	Løsfyld	0,036-0,038	30-45	-	10 ⁴
Hør	Måtte / rulle	0,040	20-40	-	
Hamp	Måtte	0,040	20-40	-	
Eksp. perlit	Løsfyld	0,042	65-105	-	
Halm	Balle	Kan ikke deklarerer	80-100	-	

¹ Middelværdi af indvendig og udvendig anvendelse

² Begge sider af den reflektive isolering sider har strålingsudveksling over et 10-15 mm hulrum

³ Typiske designværdier i udlandet

⁴ Jf. side 17 i SBI-anvisning 207

Producenter/forhandlere af bygningsisolering

Isoleringsmateriale	Producent / forhandler	Hjemmeside
Stenuld	Rockwool A/S	http://www.rockwool.dk/
Glasuld	Saint-Gobain Isover A/S	http://www.isover.dk/
EPS	Sundolitt A/S	http://www.sundolitt.dk
	Thermisol A/S	http://www.thermisol.dk/
	Styrolitt	http://www.styrolit.dk
XPS	DOW (producent)	http://www.dow.com/styrofoam/europe/dk/
	Thermisol A/S (forhandler)	http://www.thermisol.dk/
PUR	Elastogran	http://www.elastogran.de/de/
Letklinker	Saint-Gobain Weber A/S ¹	http://www.weber.dk/
Porebeton	HH Celcon	http://www.hhcelcon.dk
Tegl, porøs	Wienerberger A/S	http://www.wienerberger.dk/
Celleglas	Pittsburgh Corning Scandinavia AB	http://www.foamglas.dk
Reflektiv isolering	Steelbuilding Danmark A/S	http://www.steelbuilding-danmark.dk/
	AdFlexion (forhandler i DK)	http://www.airflexdanmark.dk/
	KDB Isolation (fransk prod.)	http://www.kdb-isolation.com/fr/
Vakuum isolering	va-Q-tec AG Info	http://www.va-q-tec.de http://www.vip-bau.ch/
Papiruld	Miljø Isolering ApS	http://www.papiruld.dk/
Træfibre	Thermocell Denmark A/S	http://www.thermocell.dk/
Hør	Fibre Tech A/S	http://www.fibre-tech.dk/
Hamp	-	-
Eksp. perlit	Nordisk Perlite ApS	http://www.perlite.dk/
Halm	-	-

¹ maxit a.s og Dansk Leca A/S fusionerede i 2006 under navnet maxit a.s. 1. Januar 2009 fik maxit nye ejere i form af Saint-Gobain Weber.

Denne strategirapport for lavenergiløsninger til nye bygninger indeholder opdaterede resultater af en løbende strategiudvikling, der foregår i Innovationsnetværket LavEByg. LavEByg beskæftiger sig med integrerede lavenergiløsninger på bygningsområdet. Strategiudviklingen er en dynamisk proces, der foretages løbende og afspejler opbygningen af viden og udviklingen på området. Rapporten beskriver en samlet strategi for en ny bæredygtig energiløsning for hele energiforbruget i Danmark (Energi 2050), der er opdelt i en beskrivelse af en generel energiløsning/vision for hele energiforbruget i Danmark, der indebærer en udfasning af brugen af fossile brændsler i Danmark inden 2050, samt en beskrivelse af en energiløsning på bygningsområdet.

Rapporten indeholder i forlængelse heraf en række detaljerede F&U strategier på forskellige faglige delområder: Hele bygningen, isoleret klimaskærm, energivinduer, glasfacader og -tage inkl. solafskærmninger og belysning, vandbåret opvarmning og køling, luftbårne systemer til ventilation, opvarmning og køling samt fjernvarme og solenergi.

DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg
Danmarks Tekniske Universitet

Brovej, Bygning 118
2800 Kgs. Lyngby
Tlf. 45 25 17 00

www.byg.dtu.dk